



TUGAS AKHIR - TM095502 (KE)

**STUDI EKSPERIMENTAL PERBANDINGAN
PEMANAS AIR TENAGA SURYA DENGAN
PELAT KOLEKTOR BERGELOMBANG SEGITIGA
WARNA HITAM, WARNA ABU-ABU, DAN
WARNA PUTIH**

**NI'MATUR ROCHMAH
NRP. 2114 030 078**

**Dosen Pembimbing :
Ir. Joko Sarsetiyanto, M.T.
NIP. 19610602 198701 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



TUGAS AKHIR - TM095502 (KE)

**STUDI EKSPERIMENTAL PERBANDINGAN
PEMANAS AIR TENAGA SURYA DENGAN
PELAT KOLEKTOR BERGELOMBANG SEGITIGA
WARNA HITAM, WARNA ABU-ABU, DAN
WARNA PUTIH**

**NI'MATUR ROCHMAH
NRP. 2114 030 078**

**Dosen Pembimbing :
Ir. Joko Sarsetiyanto, M.T.
NIP. 19610602 198701 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT - TM095502 (KE)

**EXPERIMENTAL COMPARATIVE STUDY OF
SOLAR WATER HEATER WITH BLACK COLOR,
GRAY COLOR, AND WHITE COLOR OF
CORRUGATED TRIANGLE COLLECTOR PLATE**

**NI'MATUR ROCHMAH
NRP. 2114 030 078**

**Consellor Lecture :
Ir. Joko Sarsetiyanto, M.T.
NIP. 19610602 198701 1 001**

**INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Vocasi
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017**

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI EKSPERIMENTAL PERBANDINGAN PEMANAS AIR TENAGA SURYA DENGAN PELAT KOLEKTOR BERGELOMBANG SEGITIGA WARNA HITAM, WARNA ABU-ABU, DAN WARNA PUTIH

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Ahli Madya

Pada

Bidang Studi Konversi Energi

Program Studi Diploma III Departemen Teknik Mesin Industri

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

OLEH

NI'MATUR ROCHMAH

NRP 2114 030 078

Mengetahui dan Menyetujui,

Dosen Pembimbing



E. Joke Sarsetiyanto, M.T.

NIP. 19640602 19801 1 001

SURABAYA

JULI 2017

STUDI EKSPERIMENTAL PERBANDINGAN PEMANAS AIR TENAGA SURYA DENGAN PELAT KOLEKTOR BERGELOMBANG SEGITIGA WARNA HITAM, WARNA ABU-ABU, DAN WARNA PUTIH

Nama Mahasiswa : Ni'matur Rochmah
NRP : 2114 030 078
**Departemen : D3 Teknik Mesin Industri, Fakultas
Vokasi – ITS**
Dosen Pembimbing : Ir. Joko Sarsetiyanto, M.T.

Abstrak

Radiasi adalah proses perpindahan panas yang terjadi melalui media dan tanpa media perantara. Pemanas air tenaga surya memanfaatkan energi surya untuk memanaskan air. Pada pemanas tersebut, terdapat pelat kolektor yang berfungsi sebagai bidang penyerapan panas kemudian memantulkan kearah pipa yang berisi air.

Untuk mengetahui pengaruh warna pelat terhadap pemanasan, maka dilakukan percobaan menggunakan 3 warna yang berbeda yaitu hitam (cat besi Avian kode SB), abu-abu (cat besi Avian kode 911), dan putih (cat besi Avian kode 100 M). Sedangkan bentuk pelat dibuat sama, yaitu bergelombang segitiga dengan luas front berdimensi 780mm x 1.000mm.

Hasil percobaan menunjukkan bahwa pelat dengan warna hitam menghasilkan heat gain 26.549,392 J/s, pelat dengan warna abu-abu 21.038,628 J/s, dan pelat dengan warna putih 17.343,626 J/s. Hal ini disebabkan nilai absorpsivitas (α) warna hitam paling tinggi yaitu 0.90, warna abu-abu yaitu 0.88, dan warna putih yaitu 0.30 sehingga radiasi matahari dapat diserap lebih maksimal oleh pelat yang berwarna hitam.

Kata kunci : absorpsivitas, heat gain, kolektor surya, matahari, radiasi.

EXPERIMENTAL COMPARATIVE STUDY OF SOLAR WATER HEATER WITH CORRUGATED TRIANGULAR PLATE COLLECTOR BLACK, GRAY, AND WHITE COLOR

Student Name : Ni'matur Rochmah
NRP : 2114 030 078
Department : D3 Teknik Mesin Industri, FV - ITS
Final Project Adviser : Ir. Joko Sarsetiyanto, M.T.

Abstract

Radiation heat transfer is a process that happens through the media and without media. Solar water heater use solar energy to heat water. On the heater, there is a collector plate that serves as a field of heat absorp and re-radiate, and also reflected radiation incident.

To know the influence a plate color warming, experiment has been conducted using 3 different colors, those are black (paint code Avian iron SB), gray plates (cat Avian iron code 911), and white plates (cat Avian iron code of 100 M). While the shape of the plates equal, it is corrugated triangle with broad front dimensional 780mm x 1.000mm.

The results show that the plate with black color generates heat gain 26.549,392 J/s, grey color generates 21.038,628 J/s, and white color generates 17.343,626 J/s. This is due to the value of absorpsivity (α) black color is highest, it is 0.90, grey color is 0.88, and white color is 0.30 so that solar radiaton generate with black color is highest.

Keywords : absorpsivity, heat gain, radiation, solar, solar collector.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik serta hidayah-Nya sehingga penulis dengan segala keterbatasannya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Dalam terselesaikannya tugas akhir ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu secara moral maupun materi, yakni:

1. **Bapak Ir. Joko Sarsetiyanto, M.T.** selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah banyak memberikan bimbingan dan ilmu mengenai perpindahan panas yang terkait dengan tugas akhir.
2. **Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, M.T.** selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi ITS.
3. **Bapak Ir. Suhariyanto, M.Sc** selaku Ketua Program Studi Diploma III Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi ITS sekaligus sebagai Koordinator Tugas Akhir.
4. **Bapak Ir. Eddy Widiono, M.T** selaku dosen wali dan **Koordinator Lab Metalurgi.** Beliau banyak memberi ilmu dan bimbingan pada penulis.
5. **Tim Dosen Penguji** selaku dosen yang memberikan kritik, saran, serta masukan yang sangat bermanfaat untuk penyempurnaan tugas akhir ini.
6. **Ayah dan Ibu** yang selalu memberikan dukungan penuh baik secara moril maupun materil. Tanpa do'a dan motivasi penulis tidak bisa menyelesaikan tugas akhir dengan baik. Serta **Miftakhul Jannah dan Nuril Qomariyah** selaku kakak penulis yang memotivasi agar Tugas Akhir ini selesai tepat waktu.
7. **Seluruh Dosen dan Karyawan** yang banyak membimbing penulis dalam menggali ilmu dan memfasilitas.
8. **Partner Tugas Akhir, Revina Helda Khemalasari** yang telah berjuang bersama menyelesaikan tanggungjawab ini.

Dan teman-teman kos bhaskara **Tiara, Anita, Farida** yang menghibur ketika jenuh.

9. **Sahabat penulis yaitu Peggy Melati, Dinda Ayu, Z.Rosyidah, dan Zafirah.** Mereka selaku tim hore dan tempat keluh kesah yang ada setiap saat.
10. **Teman-teman Nogogeni 2014**, yang banyak membantu dalam pengerjaan Tugas Akhir penulis dan memberikan semangat perjuangan. Serta **teman-teman Nogogeni 2015** khususnya **Addina** selaku parner sekretaris.
11. **Teman-teman Lab Metalurgy 2015/2016 dan 2016/2017** yang menemani penulis menyelesaikan TA, khususnya **Rany Nugrahani** selaku partner segalanya sejak maba dan **Fransiskus** sebagai Koor Grader.
12. **Prima Atmaditza dan Devina Ujianto**, yang memberi bantuan moril. Dan 3 rekan staff prokesma lainnya yang telah bekerjasama sampai akhir.
13. **Mas Aji, mas Rere, dan Mas Gilang** selaku konsultan Tugas Akhir bagi penulis
14. **Ilham Pamuji, Hendri, Hafidh, Dicko, Adit, Andrian, Haryo** yang membantu selama proses pengujian TA.
15. **Teman-teman D3MITS 2014** selaku saudara seperjuangan. Dan teman-teman warga DEMITS 2012, 2013, 2015, dan 2016.
16. Semua pihak yang belum disebutkan yang telah memberikan doa, bantuan, dan dukungannya.

Penulis mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan tugas akhir ini. Akhir kata, penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan di masa depan.

Surabaya, 1 Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB 1.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penulisan.....	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II.....	5
DASAR TEORI.....	5
2.1. Kajian Pustaka.....	5
2.1.1. Penelitian Hollands (1965).....	5
2.1.2. Penelitian Robert L. San Martin dan Gary J. Fjeld (1975).....	6
2.1.3. Penelitian Meyer et al dan Randall et al (1978).....	6
2.1.5. Penelitian Jong Ho Lee dan Kawan-Kawan (1986).....	7
2.1.6. Penelitian Renaldo Dan Adji (2015).....	9

2.1.7. Penelitian Gilang (2016)	10
2. 1.8 Penelitian Harizalni, Aris Zainul Muttaqin, dan Santoso Mulyadi S	10
2.2 Asas Black.....	12
2.3. Perpindahan Panas Konveksi	12
2.4. Perpindahan Panas Konduksi	13
2.5. Perpindahan Panas Radiasi.....	14
2.6. Radiasi Matahari.....	16
2.6.1. Konstanta Matahari.....	16
2.6.2 Emisivitas, Absorbsivitas, dan Reflektivitas	17
2.6.3. Geometri Radiasi Surya	19
2.8. Radiasi Matahari Langsung dan Radiasi Matahari Difuse	21
2.8.1. Intensitas Matahari Langsung (<i>I_b</i>).....	23
2.8.2. Intensitas Matahari Difuse (<i>I_d</i>).....	23
2.9. Radiasi Total pada Permukaan Miring Tetap	23
2.10. Kolektor Surya Pelat Bergelombang	25
2.10.1. Bagian utama Kolektor Surya Pelat Bergelombang Segitiga	25
2.10.2. Keseimbangan Energi pada Kolektor Surya Pelat Datar dan Bergelombang.....	26
2.11. Heat Gain dan Heat Loss.....	26
2.12. Isolator Panas.....	29
2.13. Alat Ukur Temperatur.....	30
2.13.1. Thermometer Infrared.....	30
2.13.2. Termokopel.....	32

BAB III.....	35
METODOLOGI PERCOBAAN	35
3.1. Persiapan Awal	35
3.2. Langkah Penyusunan Tugas Akhir.....	35
3.3. Instalasi Heat Exchanger Yang Telah Ada.....	36
3.4. Dimensi Jenis Pelat Yang Akan Digunakan.....	37
3.5. Pewarna Pada Pelat Absorber Yang Digunakan	38
3.6. Parameter Yang Di Ukur.....	39
3.7. Alat ukur yang digunakan	40
3.8. Tahap-Tahap pengujian.....	40
3.8.1. Alat dan Bahan.....	40
3.8.2. Persiapan Awal.....	41
3.8.3. Prosedur Pengujian Heat Gain	41
3.8.4. Pengujian Heat Loss	41
3.8.5. Perhitungan data	41
3.9. Diagram Alir Tugas Akhir.....	42
3.10. Diagram Alir Perhitungan Heat Gain dan Heat Loss....	43
3.11. Jadwal pengujian	45
BAB IV.....	47
ANALISA PERHITUNGAN.....	47
4.1 Perhitungan Kapasitas	47
4.2 Data Temperatur	47
4.3 Analisis Data Temperatur	57
4.3.1 Δt pada pelat bergelombang segitiga warna hitam.....	57
4.3.2 Δt pada pelat bergelombang segitiga warna abu-abu....	57

4.3.3 Δt pada pelat bergelombang segitiga warna putih.....	57
4.4 Perhitungan Massa Jenis.....	58
4.4.1 Mencari ρ pada pelat bergelombang segitiga dengan warna hitam :	58
4.4.2 Mencari ρ pada pelat bergelombang segitiga warna abu-abu	58
4.4.3 Mencari ρ pada jenis pelat bergelombang segitiga warna putih.....	58
4.5 Laju Aliran Massa.....	59
4.5.1 Menghitung \dot{m} pada jenis pelat segitiga berwarna hitam	60
4.5.2 Menghitung \dot{m} pada jenis pelat segitiga warna abu-abu.....	60
4.5.3 Menghitung \dot{m} pada jenis pelat segitiga berwarna putih	60
4.6 Overall Heat Gain	60
4.6.1 Menghitung heat gain pada jenis pelat bergelombang segitiga berwarna hitam,	61
4.6.2 Menghitung heat gain pada jenis pelat bergelombang segitiga warna abu-abu	61
4.6.3 Menghitung heat gain pada jenis pelat bergelombang segitiga	61
4.7 Validasi Heat Gain	63
4.7.1 Menghitung Intensitas Radiasi Matahari yang diterima pelat <i>absorber</i>	64
4.7.2 Perbandingan Heat Gain Teoritik dan Aktual masing-masing Warna Pelat.....	67
4.8 Heat Loss	68
4.8.1 Pada pelat bergelombang segitiga berwarna hitam	69

4.8.2 Pada pelat bergelombang segitiga berwarna abu-abu....	71
4.8.3 Pada Pelat bergelombang segitiga berwarna putih.....	73
4.9 Volume yang Dapat Digunakan Untuk Mandi Pada Pukul 04.00 Pagi.....	73
4.9.1 Pada Pelat bergelombang segitiga berwarna hitam	73
4.9.2 Pada Pelat bergelombang segitiga berwarna abu-abu....	74
4.9.3 Pada Pelat bergelombang segitiga berwarna putih.....	74
BAB V.....	79
5.1 Kesimpulan.....	79
5.2 Saran.....	80
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
BIOGRAFI PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Proses Pemantulan Berulang pada Pelat Bergelombang.....	4
Gambar 2.2.	<i>Tricker Collector</i>	5
Gambar 2.3.	<i>Tube and Sheet Collector</i>	6
Gambar 2.4.	<i>Corrugated Sheet Collector</i>	6
Gambar 2.5.	Pengaruh Sudut Insiden pada Radiasi Matahari..	7
Gambar 2.6.	Variasi Besaran Radiasi Yang Diserap.....	8
Gambar 2.7.	Model instalasi pemanas air tenaga surya sederhana	8
Gambar 2.8.	Instalasi kolektor surya dengan pelat absorber bergelombang segitiga	9
Gambar 2.9	Skema alat pemanas air penelitian dari Harizalni.....	10
Gambar 2.10	Distribusi kecepatan dan temperatur.....	12
Gambar 2.11	Metode perpindahan panas	13
Gambar 2.12.	Laju perpindahan panas radiasi.....	14
Gambar 2.13.	Hubungan ruang Matahari – Bumi.....	16
Gambar 2.14.	Sudut-sudut Matahari dengan Permukaan Bumi	18
Gambar 2.15.	Sudut Datang Matahari Belahan Bumi Utara ..	19
Gambar 2.16.	<i>Control Volume</i> Instalasi.....	24
Gambar 2.17.	Pipa yang tidak terisolasi.....	25
Gambar 2.18.	Celah pada pipa masuk dan keluar	25
Gambar 2.19.	<i>Heat loss</i> pada wadah penampung air	26
Gambar 2.20.	<i>Glasswool</i> /Sebagai Isolator Panas	27
Gambar 2.21.	<i>Infrared Thermometer</i>	28
Gambar 2.22.	Termokopel.....	30
Gambar 2.23.	Cara Kerja Termokopel.....	30
Gambar 3.1.	Instalasi <i>heat exchanger</i>	32
Gambar 3.2.	Gambar teknik dari instalasi <i>heat exchanger</i> ..	33
Gambar 3.3	Dimensi pelat absorber.....	34
Gambar 3.4	Penampang pelat absorber warna hitam, abu-	

	Abu, dan putih.....	35
Gambar 4.1.	Grafik <i>heat gain</i> – jenis pelat.	49
Gambar 4.2	Pipa yang tak terisolasi	60
Gambar 4.3	Celah pada pipa masuk dan keluar	60
Gambar 4.4	Bak Penampung yang diberi isolasi.....	61
Gambar 4.5	Heat Loss pada bak penampung air.....	62
Gambar 4.6.	Grafik <i>heat loss</i> – jenis pelat	66

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Nilai absorpsifitas tiap warna	18
Tabel 3.1 Jadwal pengujian.....	45
Tabel 4.1. Temperatur air pada jenis plat bergelombang segitiga warna hitam percobaan ke 1	48
Tabel 4.2. Temperatur air pada jenis plat bergelombang segitiga warna hitam percobaan ke 2.....	48
Tabel 4.3. Temperatur air pada jenis plat bergelombang segitiga warna abu-abu percobaan ke 1	49
Tabel 4.4. Temperatur air pada jenis plat bergelombang segitiga warna abu-abu percobaan ke 2	49
Tabel 4.5. Temperatur air pada jenis plat bergelombang segitiga warna putih percobaan ke 1.....	50
Tabel 4.6. Temperatur air pada jenis plat bergelombang segitiga warna putih percobaan ke 2.....	50
Tabel 4.7. Temperatur plat absorber warna hitam pada percobaan ke 1.	51
Tabel 4.8. Temperatur plat absorber warna hitam pada percobaan ke 2.	51
Tabel 4.9. Temperatur plat absorber warna abu-abu pada percobaan ke 1	52
Tabel 4.10 Temperatur plat absorber warna abu-abu pada percobaan ke 2	52
Tabel 4.11 Temperatur plat absorber warna putih pada percobaan ke 1	53
Tabel 4.12 Temperatur plat absorber warna putih pada percobaan ke 2	53
Tabel 4.13 Temperatur pipa pada jenis plat bergelombang segitiga warna hitam percobaan ke 1	54
Tabel 4.14 Temperatur pipa pada jenis plat bergelombang segitiga warna hitam percobaan ke 2.....	54
Tabel 4.15 Temperatur pipa pada jenis plat bergelombang segitiga warna abu-abu percobaan ke 1	55
Tabel 4.16 Temperatur pipa pada jenis plat bergelombang	

segitiga warna abu-abu percobaan ke 2	55
Tabel 4.17 Temperatur pipa pada jenis plat bergelombang segitiga warna putih percobaan ke 1.....	56
Tabel 4.18 Temperatur pipa pada jenis plat bergelombang segitiga warna putih percobaan ke 2.....	56
Tabel 4.19 Δt ($^{\circ}\text{C}$) air dari tiap warna plat.....	57
Tabel 4.20 Hasil perhitungan heat gain	61
Tabel 4.21 Data S , U_L , dan F_{ij} tiap jenis	64
Tabel 4.22 Hasil perhitungan heat loss.....	72

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Matahari adalah sumber energi terbarukan yang jumlahnya melimpah di negara beriklim tropis. Intensitas matahari yang diterima sepanjang tahun lebih maksimal tanpa adanya perubahan temperatur yang signifikan. Indonesia adalah salah satu negara beriklim tropis. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, intensitas matahari yang diterima tiap provinsi berbeda-beda terkait posisi garis lintang dan bujur. Untuk provinsi Jawa Timur, Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) mencatat intensitas matahari yang diterima yaitu $61,92 \text{ kWh/m}^2$ tahun 2013, $71,10 \text{ kWh/m}^2$ pada tahun 2014, dan $80,12 \text{ kWh/m}^2$ pada tahun 2015. Dengan fakta tersebut, potensi mengembangkan teknologi berbasis energi terbarukan bersumber utama sinar matahari dapat dilakukan.

Salah satu teknologi yang dikembangkan yaitu alat pemanas air tenaga surya. Prinsip utama yang diterapkan adalah perpindahan panas radiasi matahari. Dari perpindahan panas radiasi langsung daan pantul, maka air yang dialirkan secara kontinyu didalam pipa memperoleh panas sehingga suhu air meningkat. Dengan alat ini, konsumsi listrik untuk memanaskan air mandi dapat dikurangi. Alat ini dirancang sederhana agar bisa diterapkan disemua lapisan masyarakat Indonesia.

Nilai Heat Gain teoritis dan Heat Gain aktual dari eksperimen akan berbeda. Hal tersebut dapat terjadi karena beberapa faktor. Pada percobaan sebelumnya, didapatkan fakta bahwa faktor bentuk mempengaruhi besarnya radiasi yang diterima. Faktor lain yang mempengaruhi perpindahan panas radiasi matahari yaitu nilai absorpsivitas. Tiap warna memiliki nilai absorpsivitas berbeda-beda tergantung spektrum komposisi gelap yang terkandung. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini penulis mencoba membuat percobaan dengan perbandingan kontras warna gelap ke terang. Prototype pemanas air yang telah ada kemudian divariasikan

dengan mengganti warna pelat kolektor menjadi hitam, abu-abu, dan putih.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. Berapa nilai heat gain pada tiap variasi warna pelat kolektor surya?
2. Bagaimana pengaruh warna pelat kolektor surya terhadap nilai heat gain?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. Energi berasal dari radiasi sinar matahari
2. Kecepatan aliran udara di lingkungan tidak diukur.
3. Intensitas matahari tidak diukur.
4. Suhu lingkungan dianggap konstan
5. Air yang digunakan berasal dari air bersih PDAM
6. Pengambilan data diambil selama rentan waktu 08.00 – 15.00 WIB
7. Diasumsikan nilai dari n (urutan tanggal dalam satu tahun) pada percobaan sama.
8. Dimensi pelat yang digunakan sama
9. Warna pipa tidak divariasikan

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulisan tugas akhir adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui nilai heat gain secara aktual dari variasi warna pelat kolektor surya.
2. Mengetahui pengaruh warna pelat kolektor surya terhadap nilai heat gain yang didapat.

1.5 Manfaat Penulisan

Manfaat penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Bagi Penulis

Hasil penulisan tugas akhir ini bermanfaat dalam menambah wawasan penulis terhadap pemanfaatan energi matahari dalam bentuk sistem pemanas air.

2. Bagi Pihak lain

Hasil penulisan tugas akhir ini dapat menjadi refrensi bagi pengembangan alat pemanas air tenaga surya berikutnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematikan penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

Bab I PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penulisan, manfaat penulisan dan sistematika penulisan.

Bab II DASAR TEORI

Bab ini memuat tentang penelitian-penelitian terdahulu serta teori-teori yang menjadi dasar dari rancang bangun alat pemanas air tenaga surya dan perpindahan panasnya.

Bab III METODOLOGI

Bab ini memuat metode selama proses pembuatan tugas akhir dan rincian pengambilan data dari performa pemanas air tenaga surya

Bab IV PERHITUNGAN

Bab ini memuat tentang perhitungan-perhitungan kapasitas, masa jenis, heat gain dan heat loss dari pemanas air tenaga surya, volume yang dapat digunakan untuk mandi

Bab V PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran.

LAMPIRAN

(bagian ini sengaja dikosongkan)

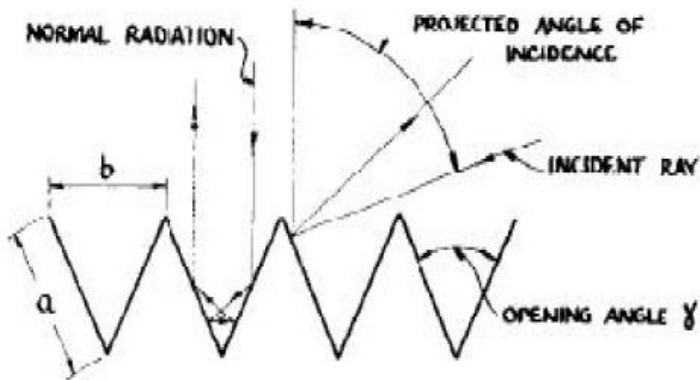
BAB II DASAR TEORI

2.1. Kajian Pustaka

Beberapa penelitian terdahulu terkait dengan penggunaan kolektor surya sebagai pemanas air tenaga matahari adalah sebagai berikut:

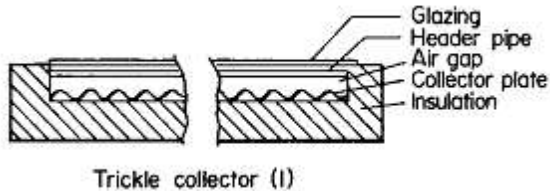
2.1.1. Penelitian Hollands (1965)

Hollands melakukan penelitian pada kolektor energi surya dengan menggunakan pelat absorber gelombang. Hasilnya, dengan menggunakan pelat absorber gelombang akan meningkatkan absorbtivitas pelat terhadap radiasi matahari. Dengan adanya bentuk gelombang sinar matahari yang mengenai pelat absorber sebagian dipantulkan ke kaca dan sebagian dipantulkan lagi ke pelat gelombang disebelahnya dan begitu seterusnya.



Gambar 2.1 Proses Pemantulan Berulang pada Pelat Bergelombang

2.1.2. Penelitian Robert L. San Martin dan Gary J. Fjeld (1975)



Gambar 2.2 *Tricker Collector*

Kolektor diisolasi dengan *polyrethane foam insulation*. Kolektor pada gambar diatas menggunakan pelat absorber dari alumunium. Trickle collector adalah kolektor surya dengan pelat penyerap berbentuk gelombang. Thermal trap collector adalah kolektor surya dengan perangkat kalor. Sedangkan standard collector adalah kolektor surya dengan pelat penyerap berbentuk datar. Dari hasil eksperimen tersebut diketahui bahwa *Triclecollector* mempunyai efisiensi 35.2%, *Thermal trap collector* 57% dan *standard collector* 62,4%.

2.1.3. Penelitian Meyer et al dan Randall et al (1978)

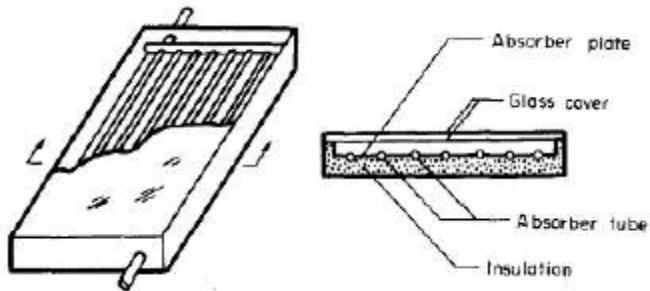
Meyer dan Randall melakukan penelitian dengan cara membandingkan besarnya rugi-rugi panas antara kolektor surya yang diberi penambahan *parallel slit array* dan kolektor surya tanpa penambahan *parallel slit array*, hasil penelitian menyebutkan pada sudut solar colector ($\beta=45^\circ$) dan *aspect ratio* ($A=2$), penambahan *parallel slit array* (TIM) dapat mengurangi setengah (0,5) kehilangan panas secara konveksi yang melewati *cover* bila dibandingkan dengan *solar collector* tanpa penambahan *parallel slit array* (TIM).

2.1.4. Penelitian Wang Shing An (1979)

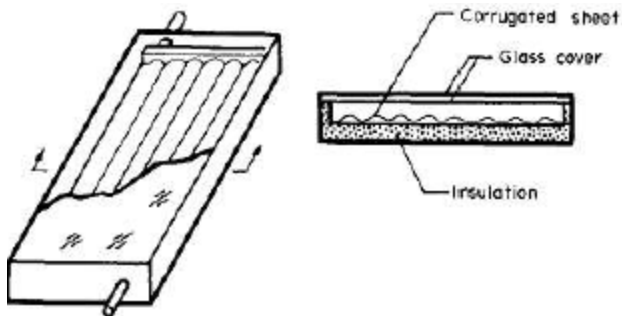
Wang Shing An menganalisa perpindahan panas dan melakukan pengujian dengan menggunakan kolektor pelat

absorber gelombang dari baja dengan ketebalan 0.8 mm untuk mengurangi kehilangan panas keatas menggunakan cover ganda. Dari eksperimen ini diperoleh persamaan efisiensi kolektor:

$$\eta = 0.68 - 7 \frac{(T_c - T_a)}{l}$$



Gambar 2.3 *Tube and Sheet Collector*



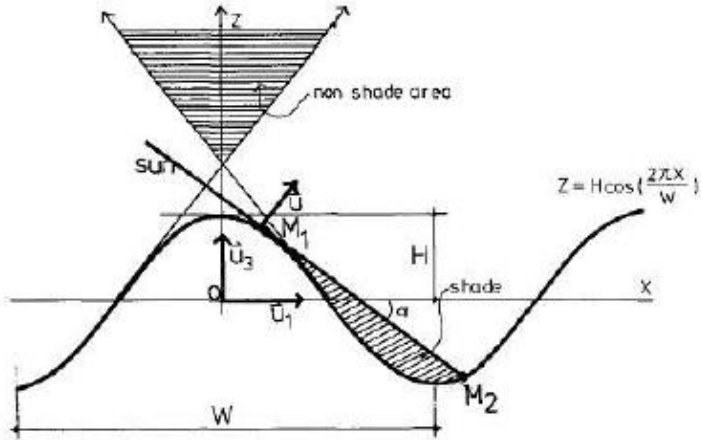
Gambar 2.4 *Corrugated Sheet Collector*

2.1.5. Penelitian Jong Ho Lee dan Kawan-Kawan (1986)

Pengujian yang dilakukan adalah pengujian unjuk kerja kolektor surya pemanas air pelat absorber gelombang. Pada eksperimen ini besarnya radiasi matahari sebagai *moving source* yang diterima oleh pelat bergantung pada *incident angle* yang

terjadi pada permukaan gelombang pelat. Diperoleh efisiensi dengan persamaan

$$\eta = 0.787 - \frac{10.822(T_{fi} - T_a)}{l}$$

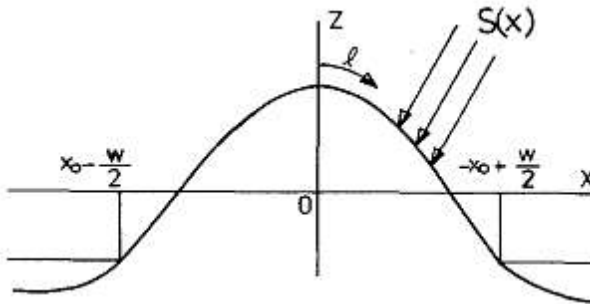


Gambar 2.5 Pengaruh Sudut Insiden pada Radiasi Matahari

Besarnya radiasi yang diserapakan bervariasi sepanjang sumbu x

$$S(x) = I_b \cdot R_b(x) \cdot (\tau\alpha)_b + I_d \cdot (\tau\alpha)_d \cdot \frac{(1 + \cos\beta)}{2} + \rho_g (I_b + I_d) \cdot (\tau\alpha)_g \cdot \frac{(1 - \cos\beta)}{2}$$

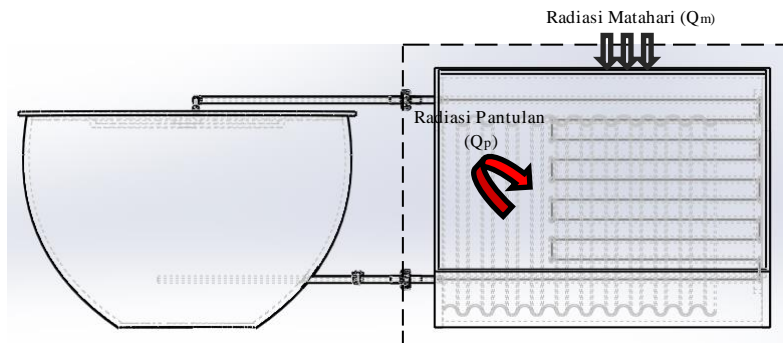
$$S = \int_{-\frac{w}{2}}^{+\frac{w}{2}} S(x) dx$$



Gambar 2.6 Variasi Besaran Radiasi Yang Diserap

2.1.6. Penelitian Renaldo Dan Adji (2015)

Renaldo dan Adji melakukan pengujian dengan membuat sebuah instalasi perpindahan panas sederhana yang dibuat dalam bentuk *prototype*. Instalasi tersebut terdiri dari pipa yang dialiri air dan sebuah pelat yang di cat hitam. Hasil pengujian mereka menunjukkan bahwa terjadi reaksi pantulan radiasi pada benda hitam. Mereka menyimpulkan terdapat dua proses radiasi pada pengujian mereka yaitu radiasi langsung dari matahari yang diterima pipa dan radiasi pantulan dari panas matahari yang diterima oleh bagian bawah pipa.



Gambar 2.7 Model instalasi pemanas air tenaga surya sederhana

2.1.7. Penelitian Gilang (2016)

Pengujian yang dilakukan adalah pengujian faktor emisivitas bentuk terhadap 3 buah jenis pelat. Jenis pelat yang diuji adalah pelat datar, pelat bergelombang setengah lingkaran dan pelat bergelombang segitiga. Hasil dari pengujiannya adalah dari ketiga pelat yang diuji, yang menghasilkan radiasi pantulan paling besar adalah pelat dengan bentuk profil permukaan bergelombang segitiga. Hasil dari pengujian menunjukkan pengaruh dari radiasi pantulan pada pelat bergelombang segitiga lebih besar. Ini dikarenakan faktor bentuk dari pelat tersebut dapat memantulkan radiasi dari matahari berulang kali.



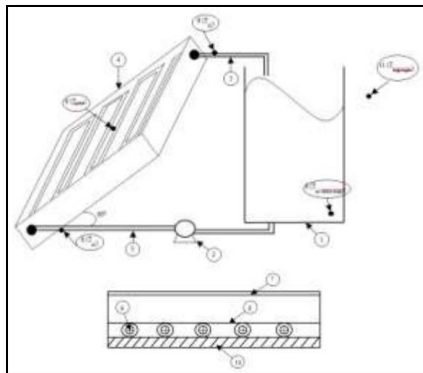
Gambar 2.8 Instalasi kolektor surya dengan pelat absorber bergelombang segitiga.

2. 1.8 Penelitian Harizalni, Aris Zainul Muttaqin, dan Santoso Mulyadi S

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi warna pelat kolektor surya kinerja pelat kolektor surya. Pelat yang digunakan berbahan sama dan berprofil sama yaitu pelat datar. Variabel yang digunakan yaitu variasi warna cat

hitam (*black*) no.(39) dengan merk *zuper spray quick drying formula acrylic spray paint*, cat warna merah (*signal red*) no.(23) dengan merk *rj LONDON acrylic epoxy spray paint* , dan cat warna biru (*flourescent blue*) no. (1004) dengan merk *rj LONDON acrylic epoxy spray paint*. Waktu penelitian yaitu pukul 09.30-12.00 WIB dengan pengukuran data yang dilakukan tiap 30 menit sekali.

Hasil akhir didapatkan bahwa warna pelat hitam mempengaruhi nilai kerja pemanas air tertinggi pada pukul 10.30 WIB dengan nilai q sebesar 4,58 J/s dibandingkan dengan warna pelat merah dengan nilai q sebesar 2,68 J/s, dan warna pelat biru dengan nilai q sebesar 1,78 J/s. Namun kinerja pemanas air dengan pelat warna merah pada pukul 12.00 WIB mencapai nilai tertinggi yaitu sebesar 2,9 J/s, dikarenakan warna pelat merah dapat menyimpan panas lebih lama dibandingkan warna hitam dan biru. Warna hitam memang mudah menyerap panas namun juga mudah melepas panas. Sedangkan untuk pelat berwarna biru, kemampuan menyerap panas paling rendah jika dibandingkan dengan warna merah dan hitam.



Gambar 2.9 Skema alat pemanas air penelitian dari Harizalni

2.2 Asas Black

Asas Black adalah suatu prinsip dalam termodinamika yang dikemukakan oleh Joseph Black. Asas ini menjabarkan:

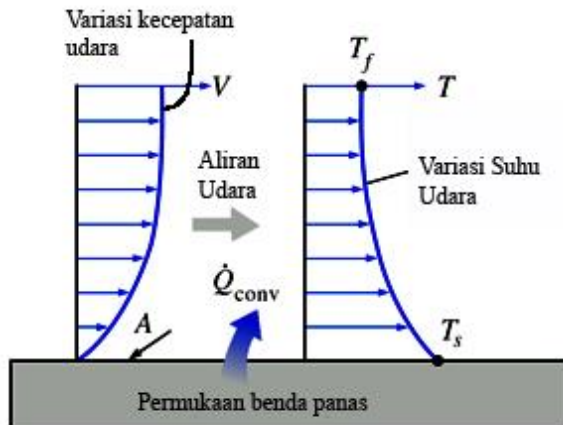
- Jika dua buah benda yang berbeda yang suhunya dicampurkan, benda yg panas memberi kalor pada benda yang dingin sehingga suhu akhirnya sama
- Jumlah kalor yang diserap benda dingin sama dengan jumlah kalor yang dilepas benda panas
- Benda yang didinginkan melepas kalor yang sama besar dengan kalor yang diserap benda bila dipanaskan.

Jumlah panas, kecepatan penyaluran panas, dan fluks panas semua disimbolkan dengan perbedaan permutasi huruf Q . Mereka biasanya diganti dalam konteks yang berbeda. Jumlah panas dinotasikan sebagai Q , dan diukur dalam joule dalam satuan SI.

$$Q = m c \Delta T \quad (2.1)$$

2.3. Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi terdiri dari dua mekanisme, yaitu perpindahan energi yang disebabkan gerakan acak molekul (difusi) dan gerakan mikroskopis fluida didalam lapisan batas (*boundary layer*). Viskositas fluida dan sifat-sifat termal fluida, seperti konduktivitas termal, kalor spesifik dan *density* sangat mempengaruhi perpindahan panas secara konveksi. Viskositas fluida akan mempengaruhi mass flow rate dari fluida. Semakin besar kecepatan aliran maka semakin besar pula gradien temperatur sehingga panas yang dibawa akan lebih besar.



Gambar 2.10 Distribusi kecepatan dan temperatur

2.4. Perpindahan Panas Konduksi

Konduksi Adalah proses perpindahan panas jika panas mengalir dari tempat yang suhunya tinggi ketempat yang suhunya lebih rendah, dengan media penghantar panas tetap. Hukum Fourier menyatakan bahwa laju perpindahan kalor dengan sistem konduksi dinyatakan dengan :

- Gradien temperatur dalam arah-x dinyatakan dengan, dT/dx .
- Luas perpindahan kalor arah normal pada arah aliran kalor, A .

$$Q = -kA \left[\frac{dT}{dx} \right] \quad (2.2)$$

Q_x = laju perpindahan kalor (Watt),

k = konduktivitas thermal, merupakan sifat material (W/m.C),

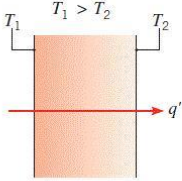
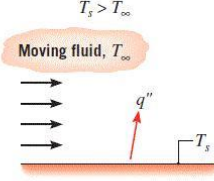
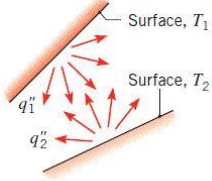
A = luas penampang yang tegak lurus dengan arah laju perpindahan kalor (m²)

dT/dx = Gradien temperatur dalam arah x (C/m)

2.5. Perpindahan Panas Radiasi

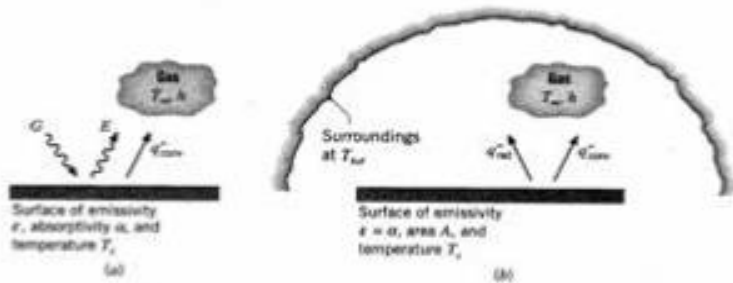
Perpindahan panas (*heat transfer*) adalah proses berpindahnya energi kalor atau panas (*heat*) karena adanya perbedaan temperatur. Dimana, energi kalor akan berpindah dari temperatur media yang lebih tinggi ke temperatur media yang lebih rendah. Proses perpindahan panas akan terus berlangsung sampai ada kesetimbangan temperatur yang terjadi pada kedua media tersebut. Proses terjadinya perpindahan panas dapat terjadi secara konduksi, konveksi, dan radiasi.

$$Q_{diterima} = Q_{dilepaskan} \quad (2.3)$$

Conduction through a solid or a stationary fluid	Convection from a surface to a moving fluid	Net radiation heat exchange between two surfaces
		

Gambar 2.11 Metode perpindahan panas konduksi, konveksi, dan radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah proses di mana panas mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah bila benda - benda itu terpisah di dalam ruang, bahkan jika terdapat ruang hampa di antara benda - benda tersebut. Peristiwa radiasi akan lebih efektif terjadi pada ruang hampa, berbeda dari perpindahan panas konduksi dan konveksi yang mengharuskan adanya media perpindahan panas.



Gambar 2.12 Laju perpindahan panas radiasi

Radiasi yang dipancarkan oleh permukaan berasal dari energi termal yang dibatasi oleh suatu permukaan. Perpindahan panas radiasi terjadi tanpa melalui suatu media perantara dan perpindahan panas ini dapat terjadi pada ruang hampa (vakum).

Kekuatan energi yang dilepaskan setiap luasan menurut Stefan-Boltzman pada permukaan hitam yaitu:

$$E_b = \sigma \times T_s^4 \quad (2.4)$$

Dimana:

- σ = Konstanta Boltzman ($5,678 \times 10^{-8} \frac{W}{m K^4}$)
- T_s = Temperatur Permukaan ($^{\circ}C$)

Dalam kenyataanya, temperatur permukaan berbeda dengan temperatur sekitar. Radiasi yang dipancarkan oleh suatu permukaan nyata akan lebih kecil dari persamaan diatas, karena itu, untuk permukaan nyata harus dikalikan dengan suatu faktor yang disebut *emisivitas* (ϵ). Sehingga panas yang diradiasikan setiap luasan adalah:

$$q'' = \epsilon \sigma (T_s^4 - T_{sur}^4) \quad (2.5)$$

Dimana:

- q'' = Panas nyata yang diradiasikan per satuan luas permukaan ($\frac{W}{m^2}$)
- ε = Emisivitas fluida
- T_{sur} = Temperatur lingkungan sekitar ($^{\circ}C$)

2.6. Radiasi Matahari

Energi matahari adalah dapat dinikmati oleh bumi dalam bentuk radiasi matahari, namun satu tempat dengan tempat lainnya tidak memiliki jumlah energi yang sama. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor. Diantaranya adalah sebagai berikut.

2.6.1. Konstanta Matahari

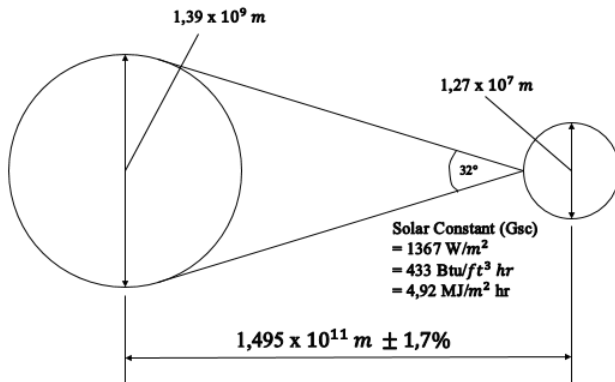
Konstanta matahari didefinisikan sebagai jumlah energi matahari yang tiba di puncak atmosfer bumi (TOA = Top of Atmosfer) dalam arah tegak lurus terhadap sinar matahari datang pada jarak rata-rata bumi-matahari. Ketika memasuki atmosfer bumi maka energi matahari akan mengalami penyusutan (*extinction*)

Matahari memancarkan energi dalam bentuk cahaya ke segala arah. Energi yang dipancarkan hanya sebagian kecil yang sampai di bumi. Namun sejumlah energi kecil tersebut sudah cukup sebagai sumber energi di bumi. Berdasarkan hasil penelitian, setiap 1 cm^2 atmosfer bumi rata-rata menerima energi matahari sebesar 2 kalori/menit (8,4 joule/menit).

Jarak rata-rata antara matahari dan bumi yaitu $1,495 \times 10^{11}$ m. Radiasi yang dipancarkan matahari menghasilkan intensitas radiasi diluar atmosfer yang mendekati konstan. Konstanta matahari (G_{sc}) adalah energi yang dipancarkan matahari tiap satuan waktu yang diterima oleh suatu luasan permukaan yang tegak lurus arah perambatan radiasi pada suatu satuan astronomi diluar atmosfer.

Berbagai pengukuran radiasi matahari dilakukan dengan bermacam alat ukur, diantaranya oleh Frochlich (1977) yang merekomendasikan harga G_{sc} sebesar 1373 W/m^2 dengan

kemungkinan kesalahan 1 – 2 %. World Radiation Center (WRC) mengambil harga sebesar 1367 W/m^2 dengan ketelitian 1%.

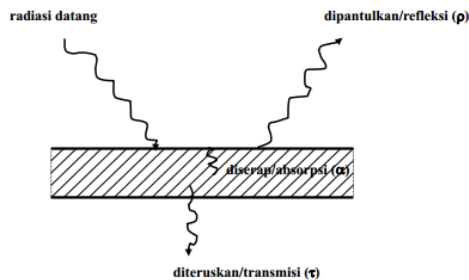


Gambar 2.13 Hubungan ruang Matahari – Bumi

2.6.2 Emisivitas, Absorbsivitas, dan Reflektivitas

Dilihat dari daya emisinya, benda terbagi ke dalam 3 macam :

1. Benda putih sempurna (*absolutely white*) menyerap sinar tanpa mengemisikan kembali.
Emisivitas (ϵ) = 0
2. Benda abu-abu (*gray body*)
 $0 < \epsilon < 1$
3. Benda hitam (*blackbody*) menyerap 100%, mengemisikan 100%.
Emisivitas (ϵ) = 1



Gambar 2.14 sifat benda yang menerima energi radiasi

Keterangan :

α = faktor absorpsi (kemampuan benda untuk menyerap panas radiasi yang diterimanya)

ρ = faktor refleksi (kemampuan benda untuk memantulkan panas radiasi yang diterimanya)

τ = faktor transmisi (kemampuan benda untuk meneruskan panas radiasi yang diterimanya)

$$\text{nilai } \rho + \alpha + \tau = 1$$

Kebanyakan benda padat tidak meneruskan radiasi thermal ($\tau = 0$) sehingga $\rho + \alpha = 1$

Sifat-sifat radiasi benda,

1. Benda yang sifatnya dapat menyerap energi yang datang seluruhnya (100%) disebut benda hitam (*blackbody*)
 $\alpha = 1$; $\rho = 0$.
Emisi benda hitam, $\varepsilon = 1 \rightarrow \varepsilon = \alpha = 1$
2. Benda yang dapat memantulkan energi yang datang 100% disebut benda putih sempurna (*absolutely white*).
 $\rho = 1$; $\alpha = 0$
3. Benda yang diantara black body dan white body disebut benda abu-abu (*grey body*)
 $0 < \varepsilon < 1$

Tabel Nilai absorbtans radiasi matahari untuk cat permukaan

No	Warna	α
1	Hitam merata	0,95
2	Pernis hitam	0,92
3	Cat minyak hitam	0,90
4	Coklat tua	0,88
5	Abu-abu dove	0,88
6	Biru/hijau tua	0,88
7	Hijau/biru medium	0,57
8	Hijau muda	0,47

9	Putih semi kilap	0,30
10	Putih kilap / perak	0,25
11	Pernis putih	0,21

2.6.2. Geometri Radiasi Surya

Lokasi dan kemiringan permukaan menentukan besarnya sudut datang radiasi surya pada permukaan tersebut. Hubungan antara suatu permukaan dengan radiasi surya yang datang dapat digambarkan dengan beberapa istilah yang diwakili oleh simbol-simbol sudut dibawah ini:

- Φ = Sudut lintang merupakan sudut lokasi permukaan terhadap ekuator, dimana untuk arah Utara diberi tanda positif, $-90^\circ \leq \Phi \leq 90^\circ$.
- δ = Sudut deklinasi matahari terhadap garis zenith di ekuator pada saat jam 12.00 waktu matahari atau letak sudut kemiringan bumi-matahari akibat rotasi bumi pada arah sumbu axis bumi-matahari. Untuk arah Utara diberi tanda positif, $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$.
- β = Sudut kemiringan, yaitu sudut antara permukaan bidang yang dimaksud dengan bidang horizontal, $-180^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$.
- γ = Sudut azimuth permukaan, yaitu sudut antara proteksi dan arah normal permukaan pada bidang horizontal dengan garis meridian, (titik nol diselatan, kearah Timur bertanda negatif, kearah Barat bertanda positif), $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$.
- θ = Sudut insiden datang-timpa, yaitu sudut antara radiasi langsung pada permukaan dengan arah normal dan permukaan tersebut.
- θ_z = Sudut zenith matahari, yaitu sudut antara radiasi langsung dan matahari dengan garis normal bidang horizontal.
- α = Sudut ketinggian matahari, yaitu sudut antara radiasi langsung dan matahari dengan bidang horizontal.

- ω = Sudut jam, yaitu perpindahan sudut dan matahari ke arah Timur atau Barat dari garis bujur lokal akibat rotasi bumi pada axisnya sebesar 15 tiap jam (harga nol tepat pada jam 12.00 waktu matahari, kearah pagi bertanda positif, kearah petang bertanda negatif).

Sudut deklinasi (δ) dapat ditentukan dengan persamaan Cooper (1969), sebagai berikut:

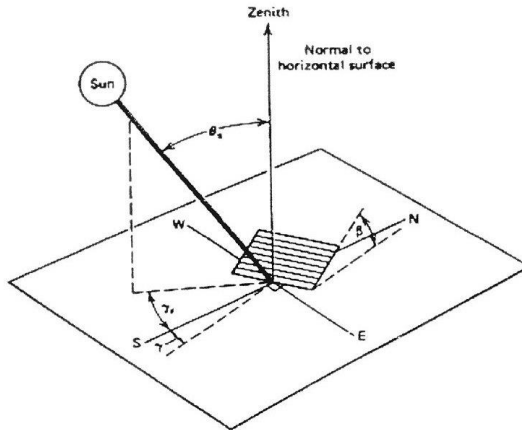
$$\delta = 23,45^\circ \sin \left(360 \times \frac{284+n}{365} \right) \quad (2.6)$$

dimana n adalah nomor urut tanggal dalam satu tahun, dimulai $n = 1$ pada tanggal 1 Januari dan seterusnya. Sedangkan sudut datang matahari menurut Beckman ditulis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \cos\theta = & (\sin\delta \sin\Phi \cos\beta) - (\sin\delta \cos\Phi \sin\beta \cos\gamma) + \\ & (\cos\delta \cos\Phi \cos\beta \cos\omega) + \\ & (\cos\delta \sin\Phi \sin\beta \cos\gamma \cos\omega) + \\ & (\cos\delta \sin\beta \sin\gamma \sin\omega) \end{aligned} \quad (2.7)$$

Untuk suatu permukaan horizontal dimana $\beta = 0$, maka persamaan menjadi:

$$\cos\theta_z = (\sin\delta \sin\Phi) + (\cos\Phi \cos\omega) \quad (2.8)$$



Gambar 2.14 Sudut-sudut Matahari dengan Permukaan Bumi

Untuk sudut datang pada permukaan yang menghadap kearah utara atau selatan dengan kemiringan tertentu, hubungan ini dapat dilihat pada gambar 2.7. Sudut datang matahari untuk belahan bumi utara:

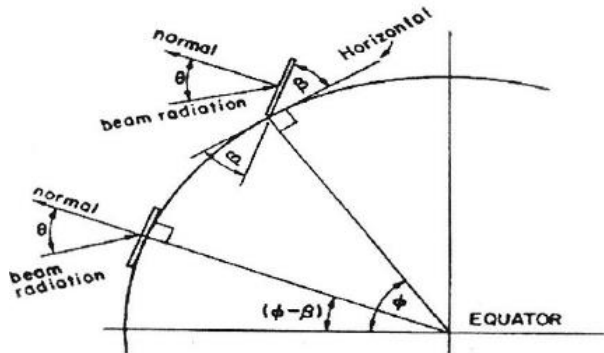
$$\cos\theta = \cos(\Phi + \beta) \cos\delta \cos\omega + \sin(\Phi - \beta) \sin\delta \quad (2.9)$$

Sedangkan untuk belahan bumi selatan, dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\cos\theta_z = \cos(\Phi + \beta) \cos\delta \cos\omega + \sin(\Phi - \beta) \sin\delta \quad (2.10)$$

Sudut jam matahari terbenam (ω_s), dapat dirumuskan sebagai:

$$\begin{aligned} \cos\omega_s &= -\frac{\sin\Phi \sin\delta}{\cos\Phi \cos\delta} \\ \cos\omega_s &= -\tan\Phi \tan\delta \end{aligned} \quad (2.11)$$



Gambar 2.15 Sudut Datang Matahari Belahan Bumi Utara

2.7. Radiasi Luar Angkasa pada Permukaan Horizontal

Radiasi luar angkasa atau bisa disebut radiasi ekstraterestrial merupakan radiasi surya diluar bumi. Menghitung radiasi ekstraterestrial akan berguna untuk mengetahui besarnya radiasi matahari langsung dan radiasi matahari difuse (sebaran). Radiasi

surya yang diterima oleh suatu permukaan horizontal diluar atmosfir bumi pada kondisi dimana arah rambatan radiasi tegak lurus bidang permukaan, oleh Beckman dirumuskan sebagai:

$$G_o = G_{sc} \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \cos \theta_z \quad (2.12)$$

Dimana G_{sc} adalah konstanta matahari dan n menyatakan urutan hari. Dengan mensubstitusikan persamaan (θ_z) kedalam persamaan diatas, maka diperoleh:

$$G_o = G_{sc} \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] (\cos \Phi \cos \delta \cos \omega + \sin \Phi \sin \delta) \quad (2.13)$$

Perhitungan radiasi surya harian seringkali diperlukan, maka persamaan (2.16) dapat diintegrasikan selama periode matahari terbit hingga terbenam. Maka radiasi matahari harian menurut persamaan yang diberikan Beckman menjadi:

$$G_o = \frac{24 \times 3600}{\pi} G_{sc} \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] x \left[\cos \Phi \cos \delta \cos \omega + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \Phi \sin \delta \right] \quad (2.14)$$

Dimana sidit jam matahari terbenam (ω_s), dinyatakan dalam derajat. Sedangkan besarnya radiasi extraterrestrial setiap jam untuk suatu bidang horizontal dirumuskan oleh Beckman dengan persamaan:

$$I_o = \frac{12 \times 3600}{\pi} G_{sc} \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] x \left[\cos \Phi \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{\pi (\omega_2 - \omega_1)}{180} \sin \Phi \sin \delta \right] \quad (2.15)$$

2.8. Radiasi Matahari Langsung dan Radiasi Matahari Difuse

Intensitas matahari yang menuju kolektor dibagi menjadi dua yaitu ada yang secara langsung dan ada pula yang melalui sebaran radiasi matahari di atmosfer (difuse).

2.8.1. Intensitas Matahari Langsung (I_b)

Besar intensitas matahari langsung (I_b) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_b = H_o(1 - k) \quad (2.16)$$

K merupakan perbandingan intensitas radiasi matahari ekstraterrestrial (I_o) dengan intensitas radiasi total yang diterima permukaan (H_o) yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$k = \frac{I_o}{H_o} \quad (2.17)$$

2.8.2. Intensitas Matahari Difuse (I_d)

Intensitas matahari difuse dapat dihitung dengan mengurangi radiasi total yang diterima permukaan bumi dengan radiasi langsung.

$$I_d = H_o - I_b \quad (2.18)$$

2.9. Radiasi Total pada Permukaan Miring Tetap

Permukaan pengumpul radiasi surya pelat bergelombang segitiga menyerap baik radiasi langsung maupun radiasi difusi. Radiasi yang datang pada suatu permukaan miring dapat diperkirakan dengan suatu faktor geometrik (R), yang menyatakan perbandingan radiasi total yang jatuh pada permukaan miring terhadap radiasi yang diterima apabila pada posisi horizontal

$$R = \frac{I_T}{I} \quad (2.19)$$

Faktor geometrik R dapat diimplementasikan pada komponen radiasi langsung maupun difusi, sehingga persamaan 2.20 menjadi:

$$R = \frac{I_{bT}}{I_b} \text{ dan } R = \frac{I_{dT}}{I_d} \quad (2.20)$$

Sehingga faktor geometrik R dapat dinyatakan dalam:

$$R = \frac{I_b}{I} R_b + \frac{I_d}{I} R_d \quad (2.21)$$

Dimana I_b adalah radiasi langsung, I_d adalah radiasi difuse, dan T adalah posisi dalam keadaan miring. Dalam hubungan dengan geometri radiasi surya, R_b dapat ditetapkan dengan persamaan:

$$R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \quad (2.22)$$

Liu dan Jordan (1963) mengembangkan suatu model radiasi total pada permukaan miring yang terdiri atas tiga komponen yaitu radiasi langsung, radiasi difusi dan radiasi yang dipantulkan secara difusi dan tanah. Jadi radiasi surya tital pada permukaan yang membentuk sudut β adalah:

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1+\cos\beta}{2} \right) + (I_b + I_d) \rho_g \left(\frac{1-\cos\beta}{2} \right) \quad (2.23)$$

Dimana nilai ρ_g adalah faktor pemantulan radiasi permukaan sekeliling, dimana harga $\rho_g = 0,2$ digunakan untuk keadaan sekeliling yang tak bersalju dan $\rho_g = 0,7$ digunakan bila permukaan sekeliling diliputi salju.

2.10. Kolektor Surya Pelat Bergelombang

Radiasi yang menimpa permukaan tutup transparan kolektor surya pelat bergelombang, sebagian besar menembus penutup kolektor dan diserap pelat bergelombang yang bertindak sebagai pengumpul energi. Energi yang telah dikumpulkan pelat ini kemudian dipancarkan dalam bentuk radiasi keruangan kolektor. Radiasi terpancar ini ketika mengenai kaca, sebagian akan dipantulkan kembali dan sebagian keluar dari kaca (rugi-rugi). Dengan adanya radiasi dari pantulan pelat dan radiasi langsung dari matahari (bagian atas) maka udara didalam ruang kolektor akan memiliki temperatur yang lebih tinggi daripada lingkungan sekitar untuk memanaskan air yang melalui pipa.

2.10.1. Bagian utama Kolektor Surya Pelat Bergelombang Segitiga

Secara umum, kolektor surya terdiri atas bagian utama, sebagai berikut:

- a) Pelat penyerap, berfungsi untuk menyerap energi radiasi matahari yang diteruskan oleh penutup (kaca) transparan. Bahan pelat yang digunakan adalah seng yang memiliki konduktivitas tinggi. Untuk penelitian pengaruh warna dalam penyerapan panas, maka masing-masing pelat diberi warna berbeda yaitu hitam, abu-abu, dan putih.
- b) Kaca transparan, berfungsi untuk meneruskan radiasi matahari sekaligus mengurangi kehilangan panas konveksi dan radiasi ke sekitar.
- c) Pipa, pipa digunakan sebagai tempat sirkulasi air yang akan dipanaskan. Pipa akan menerima panas hasil pantulan radiasi dari pelat dan radiasi matahari setelah melalui kaca. Bahan pipa yang digunakan adalah pipa besi yang dicat warna hitam untuk meningkatkan kemampuan penyerapan panas radiasi.
- d) Insulator, yaitu alat penyekat yang memiliki nilai konduktivitas yang sangat rendah. Fungsinya sebagai

penyekat untuk meminimalisir kehilangan panas pada bagian bawah, samping kolektor dan tangki penampung air.

2.10.2. Keseimbangan Energi pada Kolektor Surya Pelat Datar dan Bergelombang

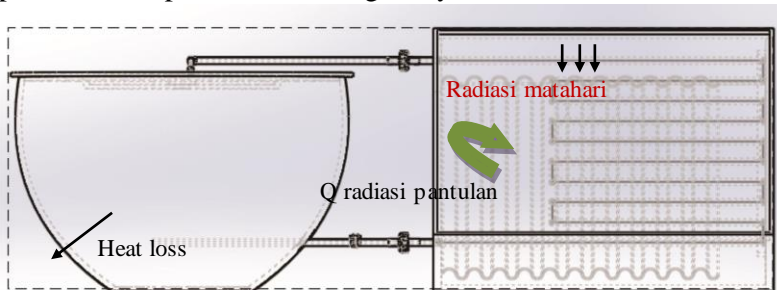
Sejumlah fluks energi radiasi yang datang pada suatu kolektor akan diserap oleh pipa secara langsung (radiasi langsung) dan sebagian diserap pelat yang nantinya akan dipantulkan ke pipa (pantulan). Energi panas yang hilang pada kolektor dinyatakan dengan total kehilangan panas (U_L) dikalikan dengan selisih antara temperatur pipa rata-rata dengan temperatur *ambient air* atau temperatur lingkungan sekitar.

Sementara untuk radiasi pantulan dari pelat ke pipa, dipengaruhi oleh faktor bentuk (F_{ij}) antara pelat dan pipa dan dikalikan dengan rumus radiasi. Jumlah energi berguna dengan luasan kolektor energi sebagai berikut:

$$Q_u = A_p [S - U_L(T_{pm} - T_a)] + [F_{ij} \varepsilon \sigma A (T_{pl}^4 - T_{pm}^4)] \quad (2.24)$$

2.11. Heat Gain dan Heat Loss

Heat gain adalah panas yang diterima oleh fluida (air) akibat seluruh perpindahan panas dari luar ke dalam yang berada pada instalasi pemanas air tenaga surya.



Gambar 2.16 Control Volume Instalasi

Nilai *heat gain* dari pemanas air tenaga surya didapat dari radiasi matahari dan radiasi pantulan dari pelat.

Sedangkan *heat loss* adalah panas yang hilang dari fluida ke lingkungan akibat adanya perbedaan temperatur. Pada percobaan kali ini, *heat loss* bisa terjadi karena beberapa faktor, diantaranya:

- Pipa yang tidak terisolasi

Terdapat bagian pipa yang berada di luar kolektor surya, hal ini menyebabkan terjadinya konveksi oleh aliran udara yang berasal dari lingkungan. Konveksi ini menyebabkan perpindahan panas dari pipa ke lingkungan.



Gambar 2.17 Pipa yang tidak terisolasi

- Celah pada pipa masuk dan pipa keluar

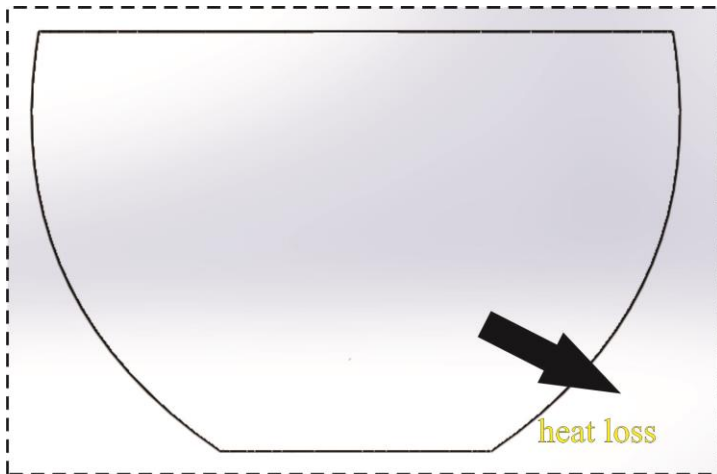
Terdapat celah pada pipa masuk dan pada pipa keluar. Celah ini menyebabkan infiltrasi yang masuk ke ruangan. Akibat dari infiltrasi ini menyebabkan terjadinya konveksi pada pelat dan pipa.



Gambar 2.18 Celah pada pipa masuk dan keluar

- *Heat loss* pada bak penampung air

Bak penampung air sudah terisolasi oleh karung goni dan *glasswool* namun isolasi ini tetap menyebabkan terjadinya perpindahan panas dari dalam bak ke lingkungan.



Gambar 2.19 *Heat loss* pada wadah penampung air

2.12. Isolator Panas

Insulasi termal (isolasi panas) adalah metode atau proses yang digunakan untuk mengurangi laju perpindahan panas /kalor. Panas atau energi panas (*kalor*) bisa dipindahkan dengan cara konduksi, konveksi, dan radiasi atau ketika terjadi perubahan wujud. Mengenai insulasi termal, hanya dibicarakan perpindahan panas secara konduksi, konveksi, dan radiasi. Aliran panas dapat dikendalikan dengan proses ini, tergantung pada sifat material yang dipergunakan. Bahan yang digunakan untuk mengurangi laju perpindahan panas itu disebut isolator atau insulator. Panas dapat lolos meskipun ada upaya untuk menutupinya, tapi isolator mengurangi panas yang lolos tersebut.

Isolasi termal dapat menjaga wilayah tertutup seperti bangunan atau tubuh agar terasa hangat lebih lama dari yang sewajarnya, tetapi itu tidak mencegah hasil akhirnya, yaitu masuknya dingin dan keluarnya panas. Isolator juga dapat bekerja sebaliknya, yaitu menjaga bagian dalam suatu wadah terasa dingin lebih lama dari biasanya. Insulator digunakan untuk memperkecil perpindahan energi panas.

Kemampuan insulasi suatu bahan diukur dengan konduktivitas termal (k). Konduktivitas termal yang rendah setara dengan kemampuan insulasi (resistansi termal atau nilai R) yang tinggi. Dalam teknik termal, sifat-sifat lain suatu bahan insulator atau isolator adalah densitas (ρ) dan kapasitas panas spesifik (c).

Bahan dengan konduktivitas termal (k) rendah menurunkan laju aliran panas. Jika nilai k lebih kecil, value, maka nilai resistansi termal yang berkaitan (R) akan lebih besar. Konduktivitas termal diukur dengan satuan watt-per-meter per Kelvin ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$), dilambangkan dengan k . Semakin tebal bahan insulator, semakin tinggi pula resistansi termal atau nilai R bahan itu. Contoh isolator yang baik dan paling mudah didapat adalah glasswool dan karung goni



Gambar 2.20 Glass Wool Sebagai Isolator Panas

2.13. Alat Ukur Temperatur

Pada proses perhitungan energi berguna, dibutuhkan dua data yang merupakan bagian dari variabel perhitungan kerugian daya radiasi, yaitu selisih antara temperatur pelat dan pipa. Oleh karena itu, digunakan termometer dalam proses pengukurannya.

2.13.1. Thermometer Infrared

Termometer inframerah mampu mendeteksi temperatur secara optik selama objek diamati, kemudian radiasi energi sinar inframerah diukur, dan disajikan sebagai suhu. Pengukuran suhu cepat dan akurat dengan objek dari kejauhan tanpa disentuh – situasi ideal di mana objek bergerak cepat, jauh letaknya, suhu sangat panas, berada di lingkungan yang berbahaya, atau adanya kebutuhan menghindari kontaminasi objek (seperti makanan, alat medis, obat-obatan, produk atau test, dll).

Termometer inframerah mengukur suhu menggunakan radiasi kotak hitam (biasanya inframerah) yang dipancarkan objek. Dengan mengetahui jumlah energi inframerah yang dipancarkan oleh objek dan emisinya, temperatur objek dapat dibedakan.



Gambar 2.21 Infrared Thermometer

Prinsip dasar dari termometer inframerah ialah bahwa seluruh obyek yang memancarkan energi infra merah semakin panas, maka molekulnya semakin aktif serta semakin banyak energi infra merah yang akan dipancarkan.

Cara penggunaan termometer inframerah ini ialah hanya dengan mengarahkannya saja ke obyek, maka termometer jenis ini akan membaca suhu. Termometer Infrared berguna untuk mengukur hal-hal dibawah ini :

- Mengukur suhu benda-benda yang bergerak, semisal : Conveyor, Mesin, dll.
- Mengukur suhu benda yang berbahaya, semisal : jarak yang tinggi, tegangan tinggi, serta sulit untuk dijangkau, dll.
- Mendeteksi suhu tubuh makhluk hidup, semisal manusia, hewan, dll.
- Mengukur suhu yang terlalu tinggi serta sulit didekati ataupun sulit disentuh, contohnya : Furnace, thermocouple, dll.
- Mendeteksi awan untuk sistem pengoperasian teleskop jarak jauh.
- Memeriksa suhu pemanas atau oven, yang bertujuan untuk kontrol serta kalibrasi.

- Memeriksa peralatan mekanika ataupun kotak sakring listrik ataupun saluran hotspot.
- Memonitor proses pendinginan ataupun pemanasan material, yang bertujuan untuk penelitian serta pengembangan ataupun quality control pada manufaktur.
- Mendeteksi titik api atau menunjukkan diagnosa terhadap produksi papan rangkaian listrik.
- Memeriksa titik api bagi pemadam kebakaran.

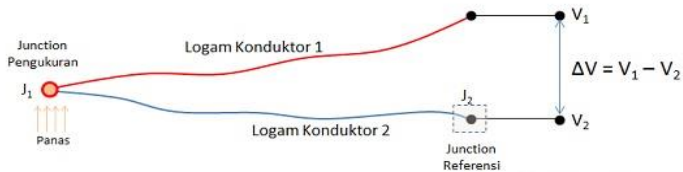
2.13.2. Termokopel

Prinsip kerja Termokopel cukup mudah dan sederhana. Pada dasarnya Termokopel hanya terdiri dari dua kawat logam konduktor yang berbeda jenis dan digabungkan ujungnya. Satu jenis logam konduktor yang terdapat pada Termokopel akan berfungsi sebagai referensi dengan suhu konstan sedangkan yang satunya lagi sebagai logam konduktor yang mendeteksi suhu panas.



Gambar 2.22 Termokopel

Termokopel (Thermocouple)



Gambar 2.23 Cara Kerja Termokopel

Ketika kedua persimpangan atau Junction memiliki suhu yang sama, maka tegangan listrik yang melalui dua persimpangan tersebut adalah ‘NOL’ atau $V_1 = V_2$. Akan tetapi, ketika persimpangan yang terhubung dalam rangkaian diberikan suhu panas atau dihubungkan ke obyek pengukuran, maka akan terjadi perbedaan suhu diantara dua persimpangan tersebut yang kemudian menghasilkan tegangan listrik yang nilainya sebanding dengan suhu panas yang diterimanya atau $V_1 - V_2$. Tegangan Listrik yang ditimbulkan ini pada umumnya sekitar $1 \mu V - 70 \mu V$ pada tiap derajat Celcius. Tegangan kemudian dikonversikan sesuai dengan Tabel referensi yang telah ditetapkan sehingga menghasilkan pengukuran yang dapat dimengerti oleh kita.

(bagian ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI PERCOBAAN

3.1. Persiapan Awal

Persiapan awal yang harus dilakukan untuk penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Penentuan tema awal tugas akhir mengenai “Study eksperimental perbandingan alat pemanas air tenaga surya dengan kolektor pelat absorber bergelombang segitiga warna hitam, warna abu-abu, dan warna putih.”
2. Pengajuan tema serta permohonan persetujuan kepada dosen pembimbing tugas akhir.

3.2. Langkah Penyusunan Tugas Akhir

Urutan-urutan pekerjaan yang harus dilakukan dalam menyusun tugas akhir ini adalah :

1. Penentuan topic
Proses pengambilan keputusan topic tugas akhir secara umum
2. Asistensi dengan dosen
Diskusi untuk membahas konsep, judul, dll dari topic tugas akhir yang telah diputuskan
3. Study literature
Mempelajari referensi-referensi yang berhubungan dengan heat exchanger yang dapat menunjang dasar teori
4. Pengujian
Pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan alat dalam memanaskan air, hasil akhir dari percobaan berupa temperature air, pelat, pipa, dan temperature udara dalam alat pemanas air.
5. Analisa hasil pengujian

Performa dapat dianalisa dari heat gain dan heat loss yang dihitung berdasarkan data yang diperoleh dari pegujian.

6. Pembuatan buku tugas akhir

Pembuatan buku tugas akhir dimana buku tersebut berisi tentang latar belakang, dasar teori, metodologi, pembahasan, dan kesimpulan dari tugas akhir.

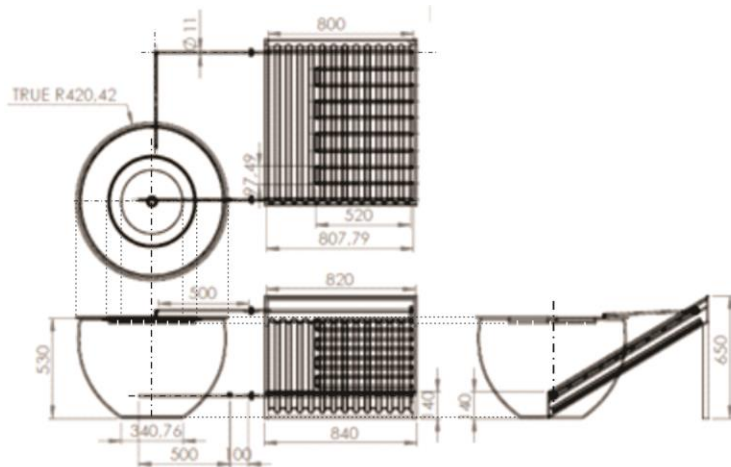
3.3. Instalasi Heat Exchanger Yang Telah Ada



Gambar 3.1 Instalasi heat exchanger

Keterangan :

1. Disharge Heat exchanger
2. Wadah penampung air
3. Gate valve
4. Pelat
5. Kaca
6. Pipa
7. Casing



Gambar 3.2 Gambar teknik dari instalasi heat exchanger

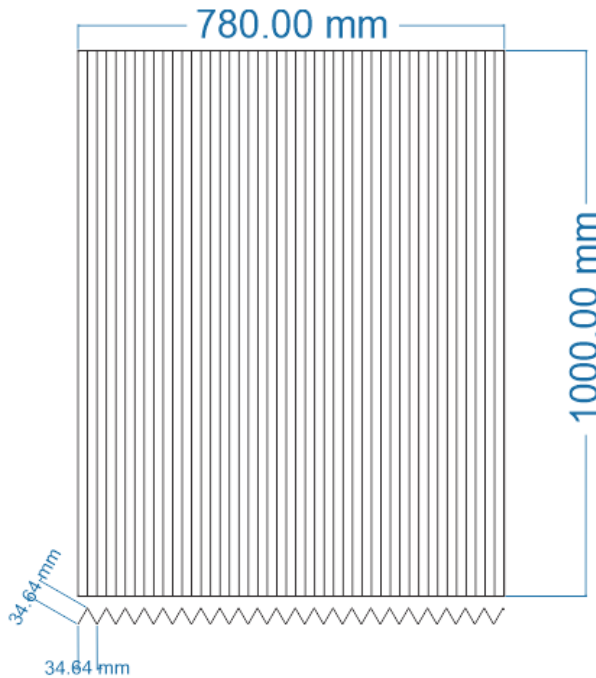
Perencanaan sistem pemanas air tenaga surya ini mengacu pada pertimbangan faktor-faktor berikut:

- Menggunakan sistem sederhana dan tepat guna
- Dapat dikerjakan dengan teknologi sederhana.
- Menggunakan material-material yang mudah didapat.
- Mudah dioperasikan dan aman.
- Biaya pembuatan yang murah.
- Perawatan mudah dan murah.

3.4. Dimensi Jenis Pelat Yang Akan Digunakan

Jenis pelat yang akan digunakan adalah pelat berjenis dan berprofil permukaan sama. Pelat datar yang digunakan berbahan seng dengan ketebalan 1mm dan lebar 100mm. Profil permukaan yang digunakan adalah gelombang segitiga yang membentuk lekukan sudut 60°. Panjang 1 lekukan yaitu 34,64mm dan dibuat sampai sepanjang profil 780mm

(bagian ini sengaja dikosongkan)



Gambar 3.3 Dimensi pelat absorber

3.5. Pewarna Pada Pelat Absorber Yang Digunakan

Pada pengujian yang dilakukan, terdapat 3 warna pelat yang berbeda. Pewarnaan pada pelat dilakukan dengan melapisi permukaan dengan cat besi merk Avian. Masing-masing warna yang digunakan adalah warna hitam dengan kode SB (Super Black), warna abu-abu dengan kode 911 Dove Grey, dan warna putih dengan kode 100M White. Dipilih warna dove daripada warna mengkilat karena dari segi penyerapan panas dapat lebih maksimal.



Gambar 3.4. Penampang plat absorber warna hitam, abu-abu, dan putih

3.6. Parameter Yang Di Ukur

1. Waktu yang dibutuhkan untuk air memenuhi volume sebesar 1 liter pada bukaan katup penuh.
2. Temperatur air pada 5 titik yang berbeda (pelat warna hitam)
3. Temperatur pelat pada 5 titik yang berbeda (pelat warna hitam)
4. Temperatur pipa pada 5 titik yang berbeda (pelat warna hitam)
5. Temperatur surrounding di dalam casing pada 5 titik yang berbeda (pelat warna hitam)
6. Temperatur air pada 5 titik yang berbeda (pelat warna abu-abu)
7. Temperatur pelat pada 5 titik yang berbeda (pelat warna abu-abu)
8. Temperatur pipa pada 5 titik yang berbeda (pelat warna abu-abu)
9. Temperatur surrounding di dalam casing pada 5 titik yang berbeda (pelat warna putih)

10. Temperatur air pada 5 titik yang berbeda (pelat warna putih)
11. Temperatur pelat pada 5 titik yang berbeda (pelat warna putih)
12. Temperatur pipa pada 5 titik yang berbeda (pelat warna putih)
13. Temperatur surrounding di dalam casing pada 5 titik yang berbeda (pelat warna putih)

3.7. Alat ukur yang digunakan

1. Gelas ukur
Gelas ukur berfungsi untuk mengukur volume keluaran dari bukaan katup.
2. Stopwatch
Berfungsi untuk mengukur waktu yang dibutuhkan air untuk memenuhi 1000 ml.
3. Termocouple
Cara penggunaan thermocouple :
Memasang baterai 9 volt lalu tekan tombol ON. Hubungkan probe dengan konektor pada bagian atas. Lalu putar posisi ke $^{\circ}\text{C}$. Celupkan ujung probe ke dalam air untuk mengukur termocouple tersebut lalu tunggu hingga angka menjadi stabil. matikan termometer dengan menekan tombol OFF. Alat ini berfungsi untuk mengukur temperatur Air yang berada pada bak.
4. Termometer laser
sebuah alat ukur suhu yang dapat mengukur temperatur tanpa bersentuhan dengan obyek yang akan diukur suhunya. Alat ini digunakan untuk mengukur permukaan pipa dan pelat.

3.8. Tahap-Tahap pengujian

3.8.1. Alat dan Bahan

1. Air sebanyak 70 liter
2. Termocouple

3. Gelas ukur
4. Stopwatch
5. Termometer laser
6. Pompa akuarium

3.8.2. Persiapan Awal

1. Pastikan instalasi perpipaan terpasang dengan baik dan tidak terdapat kebocoran
2. Pastikan sumber listrik berfungsi dengan baik
3. Pastikan pompa dapat berfungsi
4. Pastikan tidak terdapat kotoran pada kaca yang menghalangi cahaya matahari masuk ke pelat kolektor
5. Pastikan cuaca di lokasi praktikum sedang cerah

3.8.3. Prosedur Pengujian Heat Gain

1. Isi air pada wadah penampung sebanyak 70 liter.
2. Sambungkan steker pompa pada stop kontak untuk menyalakan pompa.
3. Buka gate valve dengan kondisi fully open.
4. Gunakan termocouple untuk mengukur temperatur air dan temperatur lingkungan dalam casing pada 5 titik yang berbeda, dan gunakan termometer laser untuk mengukur pipa dan pelat.
5. Lakukan pengukuran tiap satu jam sekali dimulai dari jam 08.00 – 15.00
6. Setelah pukul 15.00 akhiri pengujian.
7. lakukan 2 kali praktikum tiap warna pelat.

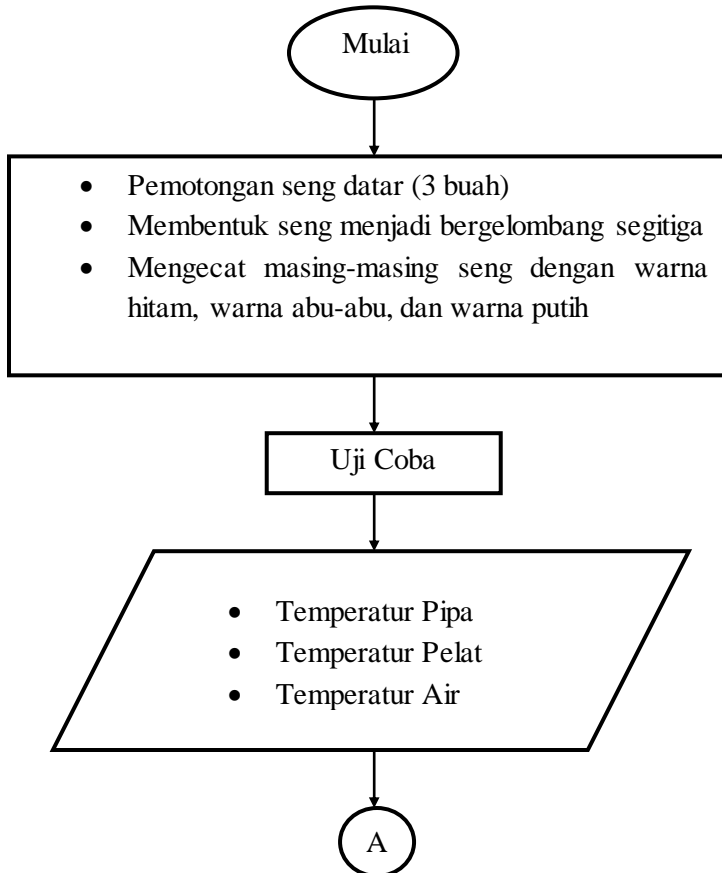
3.8.4. Pengujian Heat Loss

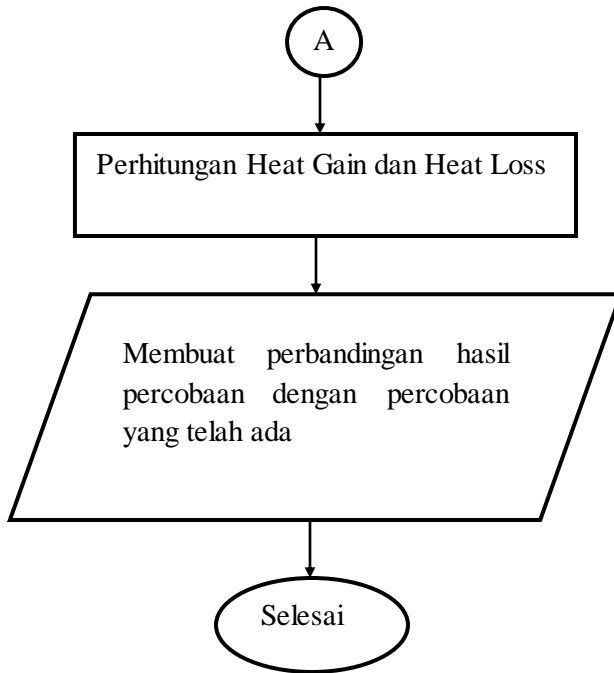
1. mulai pengujian pada pukul 08.00
2. Isi air pada wadah penampung sebanyak 70 liter.
3. Sambungkan steker pompa pada stop kontak untuk menyalakan pompa.
4. Buka gate valve dengan kondisi fully open
5. Gunakan termocouple untuk mengukur air di dalam bak pada pukul 14.00 dan 04.00
6. Matikan pompa setelah pukul 14.00

3.8.5. Perhitungan data

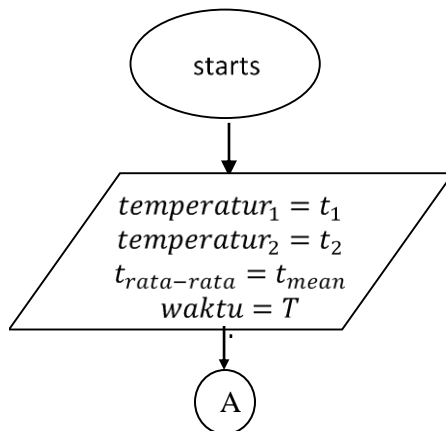
1. Hitung nilai kapasitas tiap variasi warna pelat
2. Hitung nilai $\Delta t_{rata-rata}$ dan ρ pada pukul 08.00-15.00
3. Hitung nilai $\Delta t_{rata-rata}$ dan ρ pada pukul 14.00-04.00
4. Hitung nilai m pada bak penampung air
5. Hitung nilai heat gain dan heat loss dengan rumus $Q=mC\Delta t$
6. Hitung nilai $q_{radiasi}$ dengan rumus $Q = \alpha \sigma A (T_s^4 - T_{sur}^4)$
7. Buat histogram perbandingan untuk jenis pelat

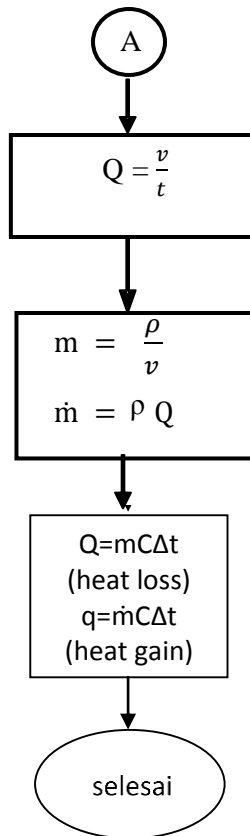
3.9. Diagram Alir Tugas Akhir





3.10. Diagram Alir Perhitungan Heat Gain dan Heat Loss





(bagian ini sengaja dikosongkan)

3.11. Jadwal pengujian

Tabel 3.1 jadwal pengujian

no	tanggal	tempat	Keterangan
1	4 April 2017	<i>Rooftop</i> lantai 2 gedung D3 T.Mesin Industri	Pengujian heat gain pada pelat warna hitam
2	6 April 2017	<i>Rooftop</i> lantai 2 gedung D3 T.Mesin Industri	Pengujian heat gain pada pelat hitam
3	7 April 2017	<i>Rooftop</i> lantai 2 gedung D3 T.Mesin Industri	Pengujian heat gain pada pelat abu-abu
4	10 April 2017	<i>Rooftop</i> lantai 2 gedung D3 T.Mesin Industri	Pengujian heat gain pada pelat abu-abu
5	11 April 2017	<i>Rooftop</i> lantai 2 gedung D3 T.Mesin Industri	Pengujian heat gain pada pelat putih
6	13 April 2017	<i>Rooftop</i> lantai 2 gedung D3 T.Mesin Industri	Pengujian heat gain pada pelat putih
7	17 April Mei 2017	<i>Rooftop</i> lantai 2 gedung D3 T.Mesin Industri	Pengujian heat loss
8	18 April 2017	<i>Rooftop</i> lantai 2 gedung D3 T.Mesin Industri	Pengujian heat loss

(bagian ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISA PERHITUNGAN

4.1 Perhitungan Kapasitas

Kapasitas perlu diketahui di dalam suatu percobaan karena kapasitas berfungsi untuk mengetahui laju aliran massa pada pipa. Kapasitas diperoleh dengan cara membagi volume sebesar 1000 ml dengan waktu yang dibutuhkan fluida (air) untuk memenuhi volume sebesar 1000 ml.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Q = kapasitas (m³/s)

V = volume

T = waktu yang dibutuhkan untuk mengisi 1000 ml

Dari data percobaan yang telah diperoleh didapat waktu untuk bukaan katup penuh (fully open) adalah 2,4 detik. Maka nilai Q didapat :

$$Q = \frac{V}{t}$$
$$Q = \frac{0,001m^3}{2,4} = 0,000416 \frac{m^3}{s}$$

4.2 Data Temperatur

Dari hasil pengujian temperature air, temperature permukaan pelat segitiga, dan temperature lingkungan dalam instalasi alat pemanas air. Tiap warna pelat dilakukan pengujian sebanyak 2 kali.

Tabel 4.1 Temperatur air percobaan ke -1 pada pelat bergelombang segitiga berwarna hitam.

Jam	temperatur air (°C)					
	1	2	3	4	5	rata-rata
8	32	32	31	31	32	31.6
9	34	34	34	34.5	34	34.1
10	36.5	36	37	37	36	36.5
11	39	39	39	39.5	39	39.1
12	43	42	42	42	43	42.4
13	44	44	44	44	44	44
14	47	47	47	47	47	47
15	46	46	46	46	46	46

Tabel 4.2 Temperatur air percobaan ke -2 pada pelat bergelombang segitiga berwarna hitam

Jam	temperatur air (°C)					
	1	2	3	4	5	rata-rata
8	34	34	34	34	34	34
9	36	36	36	35	37	36
10	40	40	41	40	40	40.2
11	42	42	41	41	41	41.4
12	45	45	44	44	44	44.4
13	47.5	47	48	48	48	47.7
14	49	49	49	50	50	49.4
15	48	49	49	49	49	48.8

Tabel 4.3 Temperatur air percobaan ke -1 pada pelat bergelombang segitiga berwarna abu-abu.

Jam	temperatur air (°C)					
	1	2	3	4	5	rata-rata
8	34	34	34	34	34	34
9	35	36	36	36	37	36
10	39	39	38	38	39	38.6
11	41	41	41	42	41	41.2
12	42	43	43	42	42	42.4
13	44	44	44	44	44	44
14	46.5	46	46	46	46.5	46.2
15	45	46	45	45	45.5	45.3

Tabel 4.4 Temperatur air percobaan ke -2 pada pelat bergelombang segitiga berwarna abu-abu.

Jam	temperatur air (°C)					
	1	2	3	4	5	rata-rata
8	33	33	33	34	34	33.4
9	35	35	35	35	36	35.2
10	37	37	37	38	38	37.4
11	41	40	40	40	40	40.2
12	43	43	43	43	43	43
13	44	45	44	44	44	44.2
14	46	46	45	45	46	45.6
15	44	44	45	45	45	44.6

Tabel 4.5 Temperatur air percobaan ke -1 pada pelat bergelombang segitiga berwarna putih.

Jam	temperatur air (°C)					
	1	2	3	4	5	rata-rata
8	34	34.5	34	34	34	34.1
9	35	35	35	35	35	35
10	36.5	37	37	36	36	36.5
11	39	39	39	40	40	39.4
12	41	41	41	41	41	41
13	43	44	44	43	43	43.4
14	45	45	44	45	44	44,6
15	44	44	44	43,5	43	43,7

Tabel 4.6 Temperatur air percobaan ke -2 pada pelat bergelombang segitiga berwarna putih.

Jam	temperatur air (°C)					
	1	2	3	4	5	rata-rata
8	33	33	33.3	33	33.5	33.2
9	34	34	34	34	34	34
10	35	36	35	35	35	35.2
11	37	37	37	38	38	37.4
12	39	39	39	39	39	39
13	41	41	41	41	41.5	41.1
14	42	43	43	43	43	42.8
15	42	42	42	42	42	42

Tabel 4.7 Temperatur permukaan pelat bergelombang segitiga berwarna hitam pada percobaan 1

Jam	temperatur pelat (°C)					
	1	2	3	4	5	rata-rata
8	61	62	60	61	61	61
9	65	65	62	64	63	63,8
10	70	72	71	71	71	71
11	80	80	78	78	79	79
12	90	90	91	92	92	91
13	96	96	95	97	96	96
14	98	98	99	97	98	98
15	86	86	87	85	85	85,8

Tabel 4.8 Temperatur permukaan pelat bergelombang segitiga berwarna hitam pada percobaan 2

Jam	temperatur pelat (°C)					
	1	2	3	4	5	rata-rata
8	60	61	61	60	60	60,4
9	62	62	61	63	62	62
10	65	64	66	65	65	65
11	69	69	67	66	68	67,8
12	78	77	79	79	78	78,2
13	87	87	86	88	87	87
14	96	99	94	96	96	96,2
15	85	85	84	86	85	85

Tabel 4.9 Temperatur permukaan pelat bergelombang segitiga warna abu-abu pada percobaan 1

Jam	temperatur pelat (°C)					
	1	2	3	4	5	rata-rata
8	55	56	55	56	56	50,6
9	61	60	61	61	61	60,8
10	64	64	64	65	65	64,4
11	67	67	67,5	67,5	67	67,2
12	69,5	70	70	69	70	69,7
13	71	72	72	72	73	72
14	78	78	78,5	78	78	78,1
15	70,5	70	71	70	70	70,3

Tabel 4.10 Temperatur permukaan pelat bergelombang segitiga warna abu-abu pada percobaan 2

Jam	temperatur pelat (°C)					
	1	2	3	4	5	rata-rata
8	53,5	54	54	54	54	53,9
9	59,5	59	61	60	60	59,5
10	62,5	63	63	63	62	62,7
11	65	65	65	64,7	66	65,14
12	69	68,2	68	68,6	69,1	68,58
13	72	71,5	72,2	71	71	71,54
14	77	76	76,5	77	76	76,5
15	72	72,5	73	72	72	72,3

Tabel 4.11 Temperatur permukaan pelat bergelombang segitiga berwarna putih pada percobaan 1

Jam	temperatur pelat (°C)					
	1	2	3	4	5	rata-rata
8	45	45,6	45	45	46	45,32
9	50	50	50	51	50	50,2
10	58	58	58,6	58	58,2	58,16
11	63	64	63,7	63	63,5	63,44
12	65	66	66	66	65,5	65,7
13	67,2	68	68	68	68	67,84
14	68	69	69	69,6	69	68,92
15	60	60	62	62	61	61

Tabel 4.12 Temperatur permukaan pelat bergelombang segitiga berwarna putih pada percobaan 2

Jam	temperatur pelat (°C)					
	1	2	3	4	5	rata-rata
8	44	44	45	44	44	44,2
9	49	50	50	50	49	49,6
10	55	56	55,6	55,4	55	55,4
11	60	61	61	60	60,5	60,5
12	67	67	67	66	66	66,6
13	68	68	68	68,9	68,5	68,28
14	70	69	69	70	70,2	69,64
15	59	58	58	58	58	58,2

Tabel 4.13 Temperatur pipa pada pelat absorber hitam percobaan 1

jam	temperature pipa (°C)					
	1	2	3	4	5	rata-rata
8	49	50	50	50	49	49,6
9	57	57	56	57	57	56,8
10	60	64	61	61	63	61,8
11	67	67	65	66	69	66,8
12	70	73	71	70	69	70,6
13	71	71	72	72	70	71,2
14	72	71	74	71	73	72,2
15	67	67	69	69	68	68
$T_{\text{pipa rata}} - \text{rata}$						64,625

Tabel 4.14 Temperatur pipa pada pelat absorber warna hitam percobaan 2

jam	temperature pipa (°C)					
	1	2	3	4	5	rata-rata
8	52	52	52,5	50	54	52
9	54	54	55	55	52	54
10	55	54	53	56	57	55
11	60	61	62	59	59	60,2
12	68	67	66	69	68	67,6
13	70	70	71	69	70	70
14	74	74	75	73	74	74
15	70	72	69	69	70	70
$T_{\text{pipa rata}} - \text{rata}$						62,85

Tabel 4.15 Temperatur pipa pada pelat absorber warna abu-abu percobaan 1

jam	temperature pipa (°C)					
	1	2	3	4	5	rata-rata
8	46	47	47	45	46	46,2
9	49	49	49	49,5	49	49
10	53	54	54	54	52	53,4
11	58	60	60	59,5	58	59
12	62	62	63	63	63	62,5
13	65	67	66	66	66	66
14	68	70	69	69	68	68,8
15	65	65	64	65	65	64,8
$T_{\text{pipa rata-rata}}$						58,725

Tabel 4.16 Temperatur pipa pada pelat absorber warna abu-abu percobaan 2

jam	temperature pipa (°C)					
	1	2	3	4	5	rata-rata
8	45	46	46	46	46	45,8
9	50	50	50	50	50,5	50
10	52	52	53	54	52	52,6
11	56	58	58	58	57,5	57,5
12	62	64	62	62	62	62,4
13	66	66	66	66	66	66
14	70	70	69	70	69	69,6
15	63	65	64	64	63	63,8
$T_{\text{pipa rata-rata}}$						58,4625

Tabel 4.17 Temperatur pipa pada pelat absorber warna putih percobaan 1

jam	temperature pipa (°C)					
	1	2	3	4	5	rata-rata
8	43	42	43	42	42	42,4
9	45	46	45	45,8	44	45
10	49	49	48,5	49	48,3	49
11	51	52	52	54	52	52,2
12	54	54	54	56	55	54,6
13	59	57	57,5	58	57	57,75
14	60	60	60	60	60	60
15	58	58	56	57	57	57,2
$T_{\text{pipa rata-rata}}$						52,2687

Tabel 4.18 Temperatur pipa pada pelat absorber warna putih percobaan 2

jam	temperature pipa (°C)					
	1	2	3	4	5	rata-rata
8	44	42	42	42	42	42,4
9	46	44	45,3	45	45	45,06
10	48,2	49	48	48	48	48,25
11	51	51	50	50	50	50,4
12	54	52	54	54	54	53,6
13	56	56	56	56	56	56
14	58	59,2	58	59	60	58,75
15	57	56	55	55	54	55,4
$T_{\text{pipa rata-rata}}$						51,2325

4.3 Analisis Data Temperatur

Dari seluruh data temperature air, maka dapat ditentukan bahwa pada pukul 14.00 WIB adalah puncak dari temperature air (suhu maksimum). Hal ini dikarenakan temperature air di pengujian pada pukul 14.00 WIB adalah suhu paling tinggi. Temperatur pada pukul 14.00 WIB dapat disimbolkan sebagai t_2 . Sedangkan suhu paling rendah berdasarkan rentan waktu pengujian adalah pada pukul 08.00 WIB. Temperatur ini kemudian disimbilkan sebagai t_1 .

Setelah menentukan nilai t_2 dan t_1 kita dapat menentukan nilai dari Δt untuk masing-masing variasi warna pelat.

4.3.1 Δt pada pelat bergelombang segitiga warna hitam

$$\text{Percobaan 1 ; } \Delta t_1 = t_2 - t_1 = 47^\circ\text{C} - 31.6^\circ\text{C} = 15.4^\circ\text{C}$$

$$\text{Percobaan 2 ; } \Delta t_2 = t_2 - t_1 = 49.4^\circ\text{C} - 34^\circ\text{C} = 15.4^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{rata-rata}} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{2} = \frac{15.4^\circ\text{C} + 15.4^\circ\text{C}}{2} = 15.4^\circ\text{C}$$

4.3.2 Δt pada pelat bergelombang segitiga warna abu-abu

$$\text{Percobaan 1 ; } \Delta t_1 = t_2 - t_1 = 46.2^\circ\text{C} - 34^\circ\text{C} = 12.2^\circ\text{C}$$

$$\text{Percobaan 2 ; } \Delta t_2 = t_2 - t_1 = 45.6^\circ\text{C} - 33.4^\circ\text{C} = 12.2^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{rata-rata}} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{2} = \frac{12.2^\circ\text{C} + 12.2^\circ\text{C}}{2} = 12.2^\circ\text{C}$$

4.3.3 Δt pada pelat bergelombang segitiga warna putih

$$\text{Percobaan 1 ; } \Delta t_1 = t_2 - t_1 = 44.6^\circ\text{C} - 34.1^\circ\text{C} = 10.5^\circ\text{C}$$

$$\text{Percobaan 2 ; } \Delta t_2 = t_2 - t_1 = 42.8^\circ\text{C} - 33.2^\circ\text{C} = 9.6^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{rata-rata}} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{2} = \frac{10.5^\circ\text{C} + 9.6^\circ\text{C}}{2} = 10.05^\circ\text{C}$$

Table 4.19 Δt ($^\circ\text{C}$) air dari tiap warna pelat

Warna Pelat	Δt ($^\circ\text{C}$)
Hitam	15.4
Abu-abu	12.2
Putih	10.05

4.4 Perhitungan Massa Jenis

Massa jenis air diperoleh dari tabel A.8 (Introduction to fluid mechanic 8th edition) dengan menggunakan data temperature air rata-rata pada pukul 08.00-15.00, maka didapat ρ pada :

4.4.1 Mencari ρ pada pelat bergelombang segitiga dengan warna hitam :

temperatur rata-rata percobaan 1 : 40,0875 °C

temperatur rata-rata percobaan 2 : 42.7375 °C

$$\frac{t_{mean1} + t_{mean2}}{2} = t_{mean12}$$

$$\frac{40,0875^{\circ}C + 42.7375^{\circ}C}{2} = 41.4125^{\circ}C = t_{mean12}$$

menggunakan tabel A.8 (Introduction to fluid mechanic 8th edition) dengan interpolasi untuk menentukan nilai density air pada temperatur 41.4125 °C.

$$40^{\circ}C = 992$$

$$41,4125^{\circ}C = x$$

$$45^{\circ}C = 990$$

$$\frac{5}{1,4125} = \frac{-2}{990 - x}$$

$$x = \rho = 991,435 \frac{kg}{m^3}$$

4.4.2 Mencari ρ pada pelat bergelombang segitiga warna abu-abu :

temperatur rata-rata pada percobaan pertama : 40.9625°C

temperatur rata-rata pada percobaan kedua : 40.45°C

$$\frac{t_{mean1} + t_{mean2}}{2} = t_{mean12}$$

$$\frac{40.9625 + 40.45}{2} = 40.70625^{\circ}C$$

menggunakan tabel A.8 pada buku (Introduction of Fluid Mechanics 8th edition) dengan interpolasi untuk menentukan

nilai density air pada temperatur 40.70625 °C

$$40^{\circ}\text{C} = 992$$

$$40.70625^{\circ}\text{C} = x$$

$$45^{\circ}\text{C} = 990$$

$$\frac{5}{0,70625} = \frac{-2}{990 - x}$$

$$x = \rho = 991,7125 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

4.4.3 Mencari ρ pada jenis pelat bergelombang segitiga warna putih

temperatur rata-rata percobaan 1 : 39.7125 °C

temperatur rata-rata percobaan 2 : 38.0875 °C

$$\frac{t_{mean1} + t_{mean2}}{2} = t_{mean12}$$

$$\frac{39.7125^{\circ}\text{C} + 38.0875^{\circ}\text{C}}{2} = 38,9^{\circ}\text{C}$$

menggunakan tabel A.8 (Introduction to fluid mechanic 8th edition) dengan interpolasi untuk menentukan nilai density air pada temperatur 38.95625°C

$$35^{\circ}\text{C} = 994$$

$$38.9^{\circ}\text{C} = x$$

$$40^{\circ}\text{C} = 992$$

$$\frac{5}{3,9} = \frac{-2}{992 - x}$$

$$x = \rho = 992,44 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

4.5 Laju Aliran Massa

Laju aliran massa diperoleh dengan cara mengkalikan kapasitas dengan massa jenis.

$$\dot{m} = Q\rho$$

\dot{m} = laju aliran massa di dalam pipa (kg/s)

Q = kapasitas (m³/s)

ρ = masa jenis air (kg/m³)

4.5.1 Menghitung \dot{m} pada jenis pelat segitiga berwarna hitam, dimana $\rho = 991,435 \text{ kg/m}^3$

$$\dot{m} = 0,000416 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 991,435 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\dot{m} = 0,41243696 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

4.5.2 Menghitung \dot{m} pada jenis pelat segitiga warna abu-abu, dimana $\rho = 991,7175 \text{ kg/m}^3$

$$\dot{m} = 0,000416 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 991,7175 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\dot{m} = 0,41255448 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

4.5.3 Menghitung \dot{m} pada jenis pelat segitiga berwarna putih, dimana $\rho = 992,4175 \text{ kg/m}^3$

$$\dot{m} = 0,000416 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 992,44 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\dot{m} = 0,412855 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

4.6 Overall Heat Gain

Overall heat gain adalah panas yang diterima oleh fluida (air) akibat seluruh perpindahan panas dari luar ke dalam yang berada pada instalasi pemanas air tenaga surya. Nilai heat gain dari pemanas air tenaga surya didapat dari radiasi matahari dan radiasi pantulan dari pelat. Pada perhitungan ini tidak menghitung heat gain pada pipa namun menghitung overall heat gain pada air selama 08.00 dan 15.00 dengan asumsi tidak ada heat loss dari pipa ke lingkungan.

$$q = \dot{m}C\Delta t$$

q = heat gain (J/kg)

\dot{m} = laju aliran massa (Kg/s)

Δt = perbedaan suhu fluida pada awal (08.00) dan puncak (14.00) (°C)

4.6.1 Menghitung heat gain pada jenis pelat bergelombang segitiga berwarna hitam, $\Delta t = 15,4^{\circ}\text{C}$ dan $\dot{m} =$

$$0,41243696 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$q = 0,41243696 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} \cdot 15,4^{\circ}\text{C}$$

$$q = 26.549,392 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 26,549392 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

4.6.2 Menghitung heat gain pada jenis pelat bergelombang segitiga warna abu-abu, $\Delta t = 12,2^{\circ}\text{C}$ dan $\dot{m} =$

$$0,41255 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$q = 0,41255 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} \cdot 12,2^{\circ}\text{C}$$

$$q = 21.038,6283 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 21,0386283 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

4.6.3 Menghitung heat gain pada jenis pelat bergelombang segitiga, $\Delta t = 10,35^{\circ}\text{C}$ dan $\dot{m} = 0,412855 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

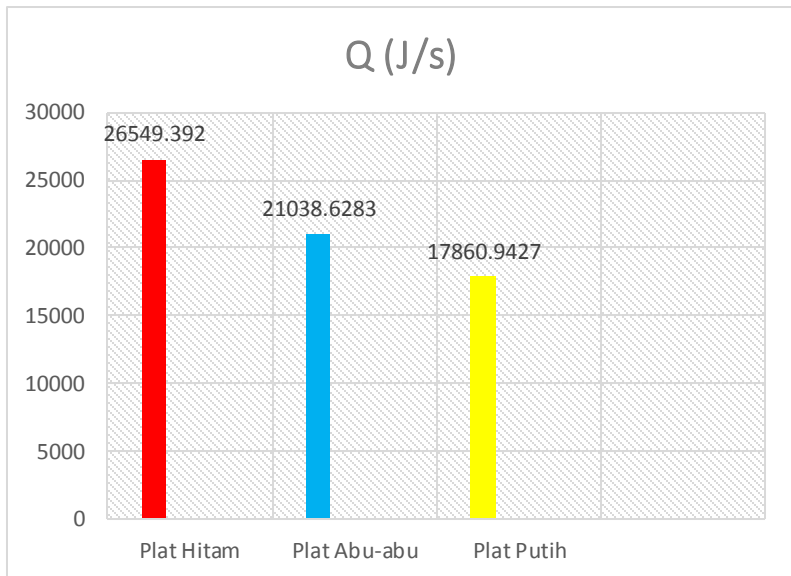
$$q = 0,412855 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} \cdot 10,35^{\circ}\text{C}$$

$$q = 17.343,626 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 17,343626 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

Tabel 4.20 Hasil perhitungan heat gain

Warna Pelat	T _{air} rata-rata (°C)	\dot{m} (kg/s)	C (J/kg°C)	Δt air (°C)	Q (J/s)
Hitam	41,4125	0.412437	4180	15.4	26.549,392
Abu-abu	40,70625	0.412554	4180	12.2	21.038,628
Putih	38.95625	0.412846	4180	10.05	17.343,626

Dari data tersebut dapat dianalisa bahwa nilai heat gain paling besar pada pelat bergelombang segitiga dengan warna hitam. Hal ini dikarenakan hasil T rata-rata pelat yang paling besar adalah pelat berwarna hitam yaitu sebesar $41,4125\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nilai ini disini tidak terlalu berpengaruh besar terhadap besar kecilnya heat gain karena tidak dilakukan pengujian variasi kapasitas. Kalor jenis yang bernilai $4180\text{ (J/kg}^{\circ}\text{C)}$ merupakan variable tetap sehingga tidak mempengaruhi nilai heat gain. Δt air memiliki pengaruh besar terhadap nilai heat gain. Pada pelat yang berwarna hitam nilai Δt air paling besar yaitu $15,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hal ini juga akibat pengaruh dari temperature rata-rata pelat berwarna hitam bernilai paling tinggi, sehingga temperature lingkungan dalam instalasi semakin panas, dan air yang disirkulasikan di dalam pipa juga ikut semakin panas.



Gambar 4.1 Grafik Heat Gain -Berdasar Warna Pelat

Dari gambar 4.1 dapat disimpulkan bahwa nilai heat gain pada pelat bergelombang segitiga warna hitam nilainya tertinggi. Hal ini disebabkan karena faktor warna yang berhubungan dengan nilai emisifitas dan absorpsifitas suatu benda. Benda hitam pekat (*black body material*) mempunyai nilai emisifitas 1. Nilai tersebut adalah yang paling tinggi daripada benda bermaterial lainnya. Sedangkan untuk benda dengan cat warna hitam nilai absorpsinya 0,9, enda dengan cat abu-abu bernilai 0,88 dan benda dengan cat warna putih nilai absorpsinya 0,3 Benda berwarna hitam mempunyai kemampuan menyerap panas yang baik. Kemudian bentuk pelat yang bergelombang segitiga bersifat menguntungkan karena radiasi matahari yang mengenai pelat dipantulkan berulang-ulang sehingga panas yang dihasilkan lebih maksimal.

4.7 Validasi Heat Gain

Nilai heat gain secara aktual dalam kapasitas fully open tiap warna pelat telah diketahui maka kita dapat membandingkan nilai heat gain secara actual dengan nilai heat gain secara teoritis pada kondisi fully open dari pemanas air tenaga surya.

q teoritis = q radiasi langsung + q radiasi pantul

$$q_t = A_p [S - U_L (T_{pm} - T_a)] + [F_{ij} \alpha \sigma A (T_{pl}^4 - T_{pm}^4)]$$

Keterangan :

A_p = Luas permukaan pipa yang terkena radiasi matahari langsung

A = Luas permukaan pipa yang terkena radiasi pantul

S = Intensitas radiasi matahari yang diterima pelat

U_L = Koefisien kehilangan perpan total pada kolektor

T_{pm} = Temperatur pipa rata-rata

T_a = Temperatur air rata-rata saat pukul 08.00

T_{pl} = Temperatur rata-rata pelat absorber

F_{ij} = Faktor bentuk pada kolektor

α = absorpsivitas

σ = konstanta Boltzman

4.7.1 Menghitung Intensitas Radiasi Matahari yang diterima pelat *absorber*

Intensitas radiasi matahari yang diterima oleh pelat absorber kolektor yang sangat dipengaruhi oleh besarnya transmisivitas, absorpsivitas dan reflektivitas bahan untuk pelat dan cover. Dengan data rancangan kolektor sebagai berikut:

- Bahan cover adalah kaca transparan dengan $\tau_g = 0,64$ dan $\rho_g = 0,03$
- Bahan absorber adalah seng bergelombang yang dicat dengan $\alpha = 0,9$ untuk warna hitam, $\alpha = 0,88$ untuk warna abu-abu, $\alpha = 0,3$ untuk warna putih

$$S = \tau_g \cdot \rho_g \cdot \alpha_p \cdot I_T$$

$$S = (0,64) \cdot (0,03) \cdot (0,9) \cdot (13680431,7598199)$$

$$S = 259.270,9186 \text{ } J/m^2s$$

Tabel 4. 21 Data S, U_L , dan F_{ij} tiap jenis

Warna Pelat	S (J/m^2s)	U_L (w/m^2k)	F_{ij}
Hitam	259.270,9186	3,31817791	0,261
Abu-abu	231.144,575	3,31817791	0,261
Putih	78.799,287	3,31817791	0,261

4.7.2 Perbandingan Heat Gain Teoritikal dan Aktual masing-masing Warna Pelat

Nilai Heat Gain teoritis dapat dihitung dengan persamaan berikut:

- a. Pada pelat hitam

$$q_t = A_p [S - U_L (T_{pm} - T_a)] + [F_{ij} \alpha \sigma A (T_{pl}^4 - T_{pm}^4)]$$

$$q_t = 0,18565[259.270,9186 - 3,31817791(336,7 - 305,8)] + [0,261 \cdot 0,9 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,18565(350,95^4 - 336,7^4)]$$

$$q_t = [48.114,611] + [5,731]$$

$$q_t = 48.120,342 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

$$q_a = 26.549,392 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

b. Pada pelat abu-abu

$$q_t = A_p[S - U_L(T_{pm} - T_a)] + [F_{ij} \alpha \sigma A (T_{pl}^4 - T_{pm}^4)]$$

$$q_t = 0,18565[231.144,575 - 3,31817791(331,594 - 306,7)] + [0,261 \cdot 0,88 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,18565(339,79^4 - 331,594^4)]$$

$$q_t = [42.710,574] + [2,999]$$

$$q_t = 42.713,573 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

$$q_a = 21.038,628 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

c. Pada pelat putih

$$q_t = A_p[S - U_L(T_{pm} - T_a)] + [F_{ij} \alpha \sigma A (T_{pl}^4 - T_{pm}^4)]$$

$$q_t = 0,18565[78.799,287 - 3,31817791(324,75 - 306,65)] +$$

$$[0,261 \cdot 0,3 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,18565(332,5625^4 - 324,75^4)]$$

$$q_t = [14.617,938] + [0,914]$$

$$q_t = 14.618,852 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

$$q_a = 17.343,626 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

Nilai q_t yang lebih besar daripada nilai q_a diakibatkan beberapa alasan berikut :

- **Pipa yang tidak terisolasi**

Terdapat bagian pipa yang berada di luar kolektor surya, hal ini menyebabkan terjadinya konveksi oleh aliran udara yang berasal dari lingkungan luar instalasi. Konveksi ini menyebabkan perpindahan panas dari pipa ke lingkungan.



Gambar 4.2 pipa yang tidak terisolasi

- **Celah pada pipa masuk dan pipa keluar**

Terdapat celah pada pipa masuk dan pada pipa keluar. Celah ini menyebabkan infiltrasi yang masuk ke ruangan. Akibat dari infiltrasi ini menyebabkan terjadinya konveksi pada pelat dan pipa.



Gambar 4.3 celah pada pipa masuk dan keluar

- **Heat loss pada bak penampung air**

Bak penampung air sudah terisolasi oleh karung goni namun isolasi ini tetap menyebabkan terjadinya perpindahan panas dari

dalam bak ke lingkungan.



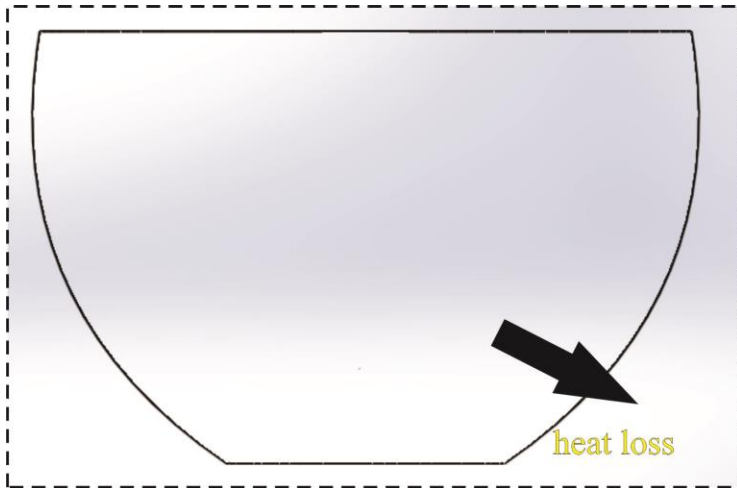
Gambar 4.4 Bak Penampung yang diberi Isolasi

Sedangkan pada pelat yang dicat warna putih, nilai heat gain aktual lebih tinggi daripada heat gain teoritical. Hal tersebut karena intensitas matahari yang menyinari bumi saat percobaan pada kenyataannya berbeda jumlahnya tiap hari, meskipun pada tugas akhir ini intensitas matahari di anggap konstan setiap harinya.

Selain itu, variasi warna hanya dilakukan pada pelat absorber, tidak pada pipa. Warna pipa adalah variable konstan yaitu hitam, sedangkan warna hitam berperan bagus ketika menyerap kalor radiasi langsung matahari ke pipa sehingga nilai q actual menjadi besar.

4.8 Heat Loss

Heat loss adalah panas yang hilang dari fluida ke lingkungan akibat adanya perbedaan temperatur, dalam hal ini analisa heat loss hanya pada bak penampung air. Untuk menghitung heat loss maka kita perlu mengetahui nilai dari m , Δt dan C



Gambar 4.5 heat loss dari bak penampung air

Nilai Δt dapat kita ketahui dengan mengurangi nilai temperatur air pada pukul 14.00 dan pada pukul 04.00.

4.8.1 Pada pelat bergelombang segitiga berwarna hitam

Temperatur air pada pukul 14.00 bernilai 49°C dan temperatur air pada pukul 04.00 bernilai 41°C pada percobaan pertama. Temperatur air pada pukul 14.00 WIB $48,6^{\circ}\text{C}$ dan pada pukul 04.00 WIB $41,1^{\circ}\text{C}$ pada percobaan kedua. Dari data tersebut dapat ditentukan :

$$\Delta t_{\text{mean}} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{2} = \frac{(49 - 41) + (48,6 - 41,1)}{2} = 7,75^{\circ}\text{C}$$

Nilai m dapat kita ketahui dengan persamaan berikut :

$$\rho v = m$$

ρ = masa jenis dari air pada temperatur rata-rata

v = volume air pada bak (m^3), volume air pada bak bernilai 70 liter

m = massa air pada bak (kg)

ρ didapat dari table A.8 properties of water pada buku introduction to fluid mechanic 8th edition dengan interpolasi menggunakan fungsi temperatur rata-rata pada pukul 14.00 dan pada pukul 04.00.

$$\frac{t_{mean1} + t_{mean2}}{2} = \frac{45^{\circ}C + 44,45^{\circ}C}{2} = 44,925^{\circ}C$$

$$40^{\circ}C = 992 \text{ kg/m}^3$$

$$44,925^{\circ}C = x$$

$$45^{\circ}C = 990 \text{ kg/m}^3$$

$$\frac{5}{4,925} = \frac{-2}{990 - x}$$

$$X = \rho = 990,03 \text{ kg/m}^3$$

Maka massa air dalam bak:

$$m = \rho V$$

$$m = 990,03 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,07 \text{m}^3 = 69,3021 \text{ kg}$$

Setelah seluruh variabel ditemukan maka kita dapat menghitung nilai heat loss pada bak tersebut.

$$Q = mc\Delta t$$

$$Q = 69,3021 \text{ kg} \cdot 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}C} \cdot 7,75^{\circ}C$$

$$Q = 2.245.041,53 \text{ J}$$

4.8.2 Pada pelat bergelombang segitiga berwarna abu-abu

Temperatur air pada pukul 14.00 bernilai 47°C dan temperatur air pada pukul 04.00 bernilai 40°C pada percobaan pertama. Temperatur air pada pukul 14.00 WIB 47°C dan pada pukul 04.00 WIB 40,5°C pada percobaan kedua. Dari data tersebut dapat ditentukan :

$$\Delta t_{mean} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{2} = \frac{(47 - 40) + (47 - 40,5)}{2} = 6,75^\circ C$$

Nilai m dapat kita ketahui dengan persamaan berikut :

$$\rho v = m$$

ρ = masa jenis dari air pada temperatur rata-rata

v = volume air pada bak (m^3), volume air pada bak bernilai 70 liter

m = massa air pada bak (kg)

ρ didapat dari table A.8 properties of water pada buku introduction to fluid mechanic 8th edition dengan interpolasi menggunakan fungsi temperatur rata-rata pada pukul 14.00 dan pada pukul 04.00.

$$\frac{t_{mean1} + t_{mean2}}{2} = \frac{43,5^\circ C + 43,75^\circ C}{2} = 43,625^\circ C$$

40°C	=	992 kg/m ³
43,625 °C	=	x
45°c	=	990 kg/m ³
		$\frac{5}{3,625} = \frac{-2}{990 - x}$

$$\mathbf{X = \rho = 990,03 \text{ kg/m}^3}$$

Maka massa air dalam bak:

$$m = \rho V$$

$$m = 990,55 \frac{kg}{m^3} . 0,07 m^3 = 69,3385 kg$$

Setelah seluruh variabel ditemukan maka kita dapat menghitung nilai heat loss pada bak tersebut.

$$Q = mc\Delta t$$

$$Q = 69,3385 \text{ kg} \cdot 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 6,75^\circ\text{C}$$

$$Q = 1.956.385,778 \text{ J}$$

4.8.3 Pada Pelat bergelombang segitiga berwarna putih

Temperatur air pada pukul 14.00 bernilai 44°C dan temperatur air pada pukul 04.00 bernilai 39°C pada percobaan pertama. Temperatur air pada pukul 14.00 WIB 45°C dan pada pukul 04.00 WIB 40°C pada percobaan kedua. Dari data tersebut dapat ditentukan :

$$\Delta_{tmean} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{2} = \frac{(44 - 39) + (45 - 40)}{2} = 5^\circ\text{C}$$

Nilai m dapat kita ketahui dengan persamaan berikut :

$$\rho v = m$$

ρ = masa jenis dari air pada temperatur rata-rata

v = volume air pada bak (m^3), volume air pada bak bernilai 70 liter

m = massa air pada bak (kg)

ρ didapat dari table A.8 properties of water pada buku introduction to fluid mechanic 8th edition dengan interpolasi menggunakan fungsi temperatur rata-rata pada pukul 14.00 dan pada pukul 04.00.

$$\frac{t_{mean1} + t_{mean2}}{2} = \frac{41,5^\circ\text{C} + 42,5^\circ\text{C}}{2} = 42^\circ\text{C}$$

$$40^\circ\text{C} = 992 \text{ kg/m}^3$$

$$42^\circ\text{C} = x$$

$$45^\circ\text{C} = 990 \text{ kg/m}^3$$

$$\frac{5}{2} = \frac{-2}{990 - x}$$

$$X = \rho = 990,08 \text{ kg/m}^3$$

Maka massa air dalam bak:

$$m = \rho V$$

$$m = 990,8 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,07m^3 = 69,356 kg$$

Setelah seluruh variabel ditemukan maka kita dapat menghitung nilai heat loss pada bak tersebut.

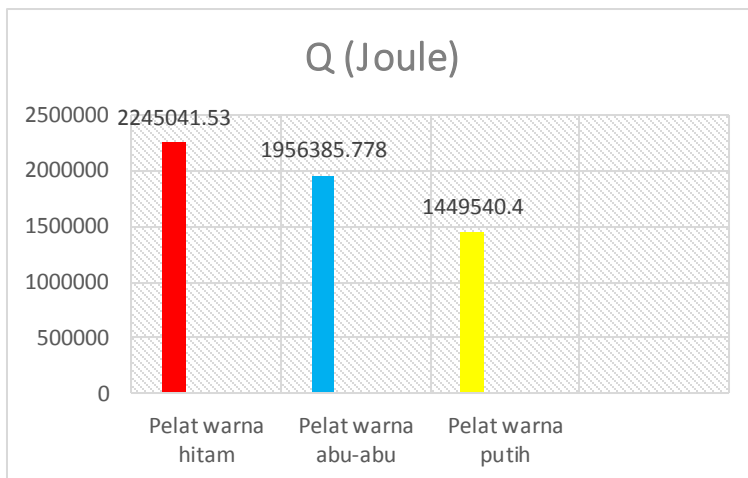
$$Q = mc\Delta t$$

$$Q = 69,356 kg \cdot 4180 \frac{J}{kg^{\circ}C} \cdot 5^{\circ}C$$

$$Q = 1.449.540,4 J$$

Tabel 4.21 perbandingan nilai heat loss

Warna Pelat	$\Delta t (^{\circ}C)$	$\rho (kg/m^3)$	$m (kg)$	Q (J)
Hitam	7,75	990,03	69,3021	2.245.041,5
Abu-abu	6,75	990,55	69,3385	1.956.385,8
Putih	5	990,08	69,3560	1.449.560,4



Gambar 4.6 Grafik perbandingan Heat Loss Pada Warna Berbeda Tiap Pelat

Heat loss paling tinggi terjadi pada saat percobaan alat pemanas air menggunakan pelat warna hitam. Hal tersebut dikarenakan warna hitam selain mudah menyerap panas juga mudah melepas panas ketika malam hari. Hal tersebut dapat dilihat dari nilai Δt ketiga warna tersebut. Warna hitam memiliki perbedaan temperature yang paling tinggi yaitu $7,75\text{ }^{\circ}\text{C}$, warna putih $6,75\text{ }^{\circ}\text{C}$, dan pada plat putih nilai heat lossnya paling rendah yaitu $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ dikarenakan warna putih lebih mudah menyimpan panas ketika malam hari.

4.9 Volume yang Dapat Digunakan Untuk Mandi Pada Pukul 04.00 Pagi

Untuk mengetahui kapasitas yang dapat kita gunakan untuk mandi pada pukul 04.00 dapat digunakan persamaan Azaz black :

$$Q_{diterima} = Q_{dilepaskan}$$

$$Q_{in} = Q_{\text{serap (radiasi langsung)}} + Q_{\text{pantul}}$$

4.9.1 Pada Pelat bergelombang segitiga berwarna hitam

Temperatur air rata-rata di dalam bak pada pukul 04.00 sebesar $41,05^{\circ}\text{C}$, dengan menggunakan **tabel A.8 properties of water pada buku Introduction of fluid Mechanics 8th edition** dengan cara interpolasi dapat ditentukan nilai massa jenis air pada temperatur $41,5^{\circ}\text{C}$ yaitu

$$\begin{array}{rcl} 40^{\circ}\text{C} & = & 992\text{ kg/m}^3 \\ 41,05\text{ }^{\circ}\text{C} & = & x \\ 45^{\circ}\text{C} & = & 990\text{ kg/m}^3 \\ \frac{5}{1,05} & = & \frac{-2}{990 - x} \\ & = & 991,58\text{ kg/m}^3 \end{array}$$

Setelah menemukan nilai massa jenis air pada pukul 04.00 maka kita dapat menentukan nilai massa air pada bak.

$$m = \rho V$$

$$m = 991,58 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,07m^3 = 69,4106 kg$$

4.9.2 Pada Pelat bergelombang segitiga berwarna abu-abu

Temperatur air rata-rata di dalam bak pada pukul 04.00 sebesar $40,05^{\circ}C$, dengan menggunakan **tabel A.8 properties of water pada buku Introduction of fluid Mechanics 8th edition** dengan cara interpolasi dapat ditentukan nilai massa jenis air pada temperatur $40,05^{\circ}C$ yaitu

$$\begin{array}{rcl} 40^{\circ}C & = & 992 \text{ kg/m}^3 \\ 40,05^{\circ}C & = & x \\ 45^{\circ}C & = & 990 \text{ kg/m}^3 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \frac{5}{0,05} = \frac{-2}{990 - x} \\ = 991,9 \text{ kg/m}^3 \end{array}$$

Setelah menemukan nilai massa jenis air pada pukul 04.00 maka kita dapat menentukan nilai massa air pada bak.

$$\begin{array}{l} m = \rho V \\ m = 991,9 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,07m^3 = 69,433 kg \end{array}$$

4.9.3 Pada Pelat bergelombang segitiga berwarna putih

Temperatur air rata-rata di dalam bak pada pukul 04.00 sebesar $39,5^{\circ}C$, dengan menggunakan **tabel A.8 properties of water pada buku Introduction of fluid Mechanics 8th edition** dengan cara interpolasi dapat ditentukan nilai massa jenis air pada temperatur $41,5^{\circ}C$ yaitu

$$\begin{array}{rcl} 35^{\circ}C & = & 994 \text{ kg/m}^3 \\ 39,5^{\circ}C & = & x \\ 40^{\circ}C & = & 992 \text{ kg/m}^3 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \frac{5}{4,5} = \frac{-2}{992 - x} \\ = 992,4 \text{ kg/m}^3 \end{array}$$

Setelah menemukan nilai massa jenis air pada pukul 04.00 maka kita dapat menentukan nilai massa air pada bak.

$$m = \rho V$$

$$m = 992,4 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,07 m^3 = 69,468 kg$$

Mengacu pada standar ANSI ISEA Z358.1- 2014 Compliance Checklist tentang suhu air hangat 16°C - 38°C. Maka di asumsikan suhu yang digunakan untuk mandi bernilai 38°C

$$Q_{diterima} = Q_{dilepaskan}$$

$$m_{air dingin} \cdot C \cdot \Delta t = m_{air dalam bak} \cdot C \cdot \Delta t$$

Pada Pelat bergelombang segitiga berwarna hitam

$$m_{air dingin} \cdot 4180 \frac{J}{kg^{\circ}C} \cdot (38^{\circ}C - 31^{\circ}C)$$

$$= 69,4106 kg \cdot 4180 \frac{J}{kg^{\circ}C} \cdot (41,05^{\circ}C - 38^{\circ}C)$$

$$m_{air dingin} = 30,24319 kg$$

$$m_{total} = m_{air dingin} + m_{air hangat}$$

$$m_{total} = 30,24319 kg + 69,4106 kg = 99,65379 kg$$

Setelah didapatkan nilai massa air total maka kita perlu mencari nilai massa jenis air pada temperatur 38°C dengan table

A.8 properties of water

$$40^{\circ}C = 992$$

$$38^{\circ}C = x$$

$$35^{\circ}C = 994$$

$$\frac{5}{2} = \frac{-2}{992 - x}$$

$$x = \rho = 992,8 \frac{kg}{m^3}$$

maka volume total :

$$v = \frac{m}{\rho} = \frac{99,65379 kg}{992,8 \frac{kg}{m^3}} = 0,1003765 m^3 = 100,3765 liter$$

Mengacu pada standar mandi Singapura yang menerapkan pengolahan air secara bijaksana sehingga menghemat penggunaan air, maka kapasitas yang digunakan mandi shower adalah 15 liter.

$$\frac{100,3765 \text{ liter}}{15 \text{ liter}} = 6,69$$

Maka dari pemanas air tenaga surya dengan kapasitas 70 liter dengan temperatur mandi 38°C dapat digunakan untuk 7 orang

Pada Pelat bergelombang segitiga berwarna abu-abu

$$m_{air \text{ dingin}} \cdot 4180 \frac{J}{kg^{\circ}C} \cdot (38^{\circ}C - 31^{\circ}C) \\ = 69,433 \text{ kg} \cdot 4180 \frac{J}{kg^{\circ}C} \cdot (40,25^{\circ}C - 38^{\circ}C)$$

$$m_{air \text{ dingin}} = 22,31775 \text{ kg}$$

$$m_{total} = m_{air \text{ dingin}} + m_{air \text{ hangat}}$$

$$m_{total} = 22,31775 \text{ kg} + 69,433 \text{ kg} = 91,75075 \text{ kg}$$

Setelah didapatkan nilai massa air total maka kita perlu mencari nilai massa jenis air pada temperatur 38°C **dengan table**

A.8 properties of water

$$40^{\circ}C = 992$$

$$38^{\circ}C = x$$

$$35^{\circ}C = 994$$

$$\frac{5}{2} = \frac{-2}{992 - x}$$

$$x = \rho = 992,8 \frac{kg}{m^3}$$

maka volume total :

$$v = \frac{m}{\rho} = \frac{91,75075 \text{ kg}}{992,8 \frac{kg}{m^3}} = 0,092416 \text{ m}^3 = 92,416 \text{ liter}$$

Mengacu pada standar mandi Singapura yang menerapkan pengolahan air secara bijaksana sehingga menghemat penggunaan air, maka kapasitas yang digunakan mandi shower adalah 15 liter.

$$\frac{92,416 \text{ liter}}{15 \text{ liter}} = 6,16$$

Maka dari pemanas air tenaga surya dengan kapasitas 70 liter dengan temperatur mandi 38°C dapat digunakan untuk 6 orang

Pada Pelat bergelombang segitiga berwarna putih

$$m_{air \text{ dingin}} \cdot 4180 \frac{J}{kg^{\circ}C} \cdot (38^{\circ}C - 31^{\circ}C) = 69,454 \text{ kg} \cdot 4180 \frac{J}{kg^{\circ}C} \cdot (39,5^{\circ}C - 38^{\circ}C)$$

$$m_{air \text{ dingin}} = 14,883 \text{ kg}$$

$$m_{total} = m_{air \text{ dingin}} + m_{air \text{ hangat}}$$

$$m_{total} = 14,883 \text{ kg} + 69,454 \text{ kg} = 84,337 \text{ kg}$$

Setelah didapatkan nilai massa air total maka kita perlu mencari nilai massa jenis air pada temperatur 38°C dengan table

A.8 properties of water

$$40^{\circ}C = 992$$

$$38^{\circ}C = x$$

$$35^{\circ}C = 994$$

$$\frac{5}{2} = \frac{-2}{992 - x}$$

$$x = \rho = 992,8 \frac{kg}{m^3}$$

maka volume total :

$$v = \frac{m}{\rho} = \frac{84,337 \text{ kg}}{992,8 \frac{kg}{m^3}} = 0,084986 m^3 = 84,986 \text{ liter}$$

Mengacu pada standar mandi Singapura yang menerapkan pengolahan air secara bijaksana sehingga menghemat penggunaan air, maka kapasitas yang digunakan mandi shower adalah 15 liter.

$$\frac{84,986 \text{ liter}}{15 \text{ liter}} = 5,67$$

Maka dari pemanas air tenaga surya dengan kapasitas 70 liter dengan temperatur mandi 38°c dapat digunakan untuk 5 orang

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Ada perbedaan nilai heat gain secara teoritis dan secara eksperimen. Perbedaan nilai yang didapat secara teoritis dan aktual disebabkan karena adanya heat loss di beberapa bagian instalasi yaitu pada bagian pipa yang tidak terisolasi dan celah pada pipa masuk maupun keluar yang menyebabkan panas di dalam kaca keluar.
2. Pada penggunaan pelat bergelombang segitiga berwarna hitam didapat nilai heat gain sebesar 26.549,392 J/s, pelat berwarna abu-abu sebesar 21.038,628 J/s, dan pelat berwarna putih sebesar 17.860,943 J/s. Nilai heat gain tertinggi pada pelat berwarna hitam karena pengaruh nilai absorpsivitas yang tinggi pada cat warna hitam yaitu 0,90 sehingga mampu menyerap panas secara maksimal kemudian radiasi panas dipantulkan berulang-ulang akibat pengaruh faktor bentuk. Pada pelat abu-abu nilai absorpsivitasnya lebih rendah yaitu 0,88 dan pada pelat berwarna putih 0,30 sehingga nilai heat gain yang dihasilkan sangat rendah karena banyak panas yang tidak diserap dan terbuang.
3. Heat gain pelat abu-abu turun 20,75% daripada warna hitam.
4. Heat gain pelat putih turun 32,72% daripada warna hitam.

5.2 Saran

1. Dapat meningkatkan nilai temperatur dengan cara memperluas permukaan pipa.
2. Menutup bagian yang dapat menyebabkan *heat loss* pada saluran pipa.
3. Mempertebal isolator yang digunakan sehingga *heat loss* dapat diminimalisir
4. Sebaiknya dibuatkan lubang untuk mengukur suhu air sehingga tidak perlu membuka tutup bak penampung karena dapat menimbulkan heat loss dari dalam bak ke lingkungan.

(bagian ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

Adji Dharma, Ikki. 2016. *Analisis Performa Pemanas Air Dengan Sumber Energi Matahari*, TA 1010 Surabaya : Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS

Armada Hariyono Saputra, Gilang. 2017. *Studi Eksperimental Perbandingan Pemanas Air Tenaga Surya Dengan Kolektor Surya Plat Datar, Plat Bergelombang Setengah Lingkaran Dan Plat Bergelombang Segitiga*, TA 1025 Surabaya : Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS

Badan Pusat Statistik, 2017. Tekanan Udara dan Penyinaran Matahari di Stasiun Pengamatan BMKG, 2011-2015, <https://www.bps.go.id/linkTabelStatis/view/1962> (diakses 18 Mei 2017)

Buchori, Luqman, ST, MT. *Perpindahan panas (Heat Exchanger)*. Diktat Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UNDIP Semarang.

Harizalni SE. *Pengaruh Variasi Warna Plat Kolektor Surya Terhadap Kinerja Pemanas Air Tenaga Surya*. Jurnal **ROTOR**, Volume 7 Nomor 1. Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

Incropera, Frank P, dkk. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 6th Edition. 2007, John Wiley and Sons, Inc.

J.Pritchard, Philip. 2011, *Fox and McDonald's Introduction To Fluid Mechanics*, Manhattan College, John Wiley and Sons, Inc.

Kompas Internasional, 2012. Demi Hemat Air Singapura Batasi Waktu Mandi Warganya
<http://internasional.kompas.com/read/2012/12/28/14432752/>

(diakses Juni 2017)

Maxilion Parinusa, Renaldo. 2016. *Rancang Bangun Alat Pemanas Air Tenaga Surya Sederhana*. TA 1023 Surabaya : Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS

Najjib, Moh. 2013. *Sudut Deklanasi dan Lingkaran Deklanasi*
<http://my-dock.blogspot.co.id/2013/03/sudut-deklinasi-dan-lingkaran-deklinasi.html>
(diakses Juli 2017)

Rizal Eka, Yanuar. 2009. *Rancang bangun Pemanas Air tenaga Surya Absorber Gelombang Tipe Sinusoidal dengan Penambahan Honeycom*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Sarsetiyanto, Joko. *Perpindahan Panas*, Diktat D3 Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

LAMPIRAN

Tabel Untuk Mencari *Density*

Table A.8

Properties of Water (SI Units)

Temperature, $T(^{\circ}\text{C})$	Density, $\rho \text{ (kg/m}^3\text{)}$	Dynamic Viscosity, $\mu \text{ (N} \cdot \text{s/m}^2\text{)}$	Kinematic Viscosity, $\nu \text{ (m}^2\text{/s)}$	Surface Tension, $\sigma \text{ (N/m)}$	Vapor Pressure, $p_v \text{ (kPa)}$	Bulk Modulus, $E_v \text{ (GPa)}$
0	1000	1.76E-03	1.76E-06	0.0757	0.661	2.01
5	1000	1.51E-03	1.51E-06	0.0749	0.872	
10	1000	1.30E-03	1.30E-06	0.0742	1.23	
15	999	1.14E-03	1.14E-06	0.0735	1.71	
20	998	1.01E-03	1.01E-06	0.0727	2.34	2.21
25	997	8.93E-04	8.96E-07	0.0720	3.17	
30	996	8.00E-04	8.03E-07	0.0712	4.25	
35	994	7.21E-04	7.25E-07	0.0704	5.63	
40	992	6.53E-04	6.59E-07	0.0696	7.38	
45	990	5.95E-04	6.02E-07	0.0688	9.59	
50	988	5.46E-04	5.52E-07	0.0679	12.4	2.29
55	986	5.02E-04	5.09E-07	0.0671	15.8	
60	983	4.64E-04	4.72E-07	0.0662	19.9	
65	980	4.31E-04	4.40E-07	0.0654	25.0	
70	978	4.01E-04	4.10E-07	0.0645	31.2	
75	975	3.75E-04	3.85E-07	0.0636	38.6	
80	972	3.52E-04	3.62E-07	0.0627	47.4	
85	969	3.31E-04	3.41E-07	0.0618	57.8	
90	965	3.12E-04	3.23E-07	0.0608	70.1	2.12
95	962	2.95E-04	3.06E-07	0.0599	84.6	
100	958	2.79E-04	2.92E-07	0.0589	101	

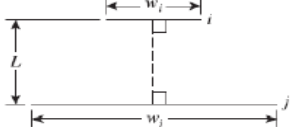
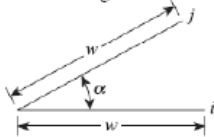
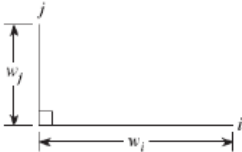
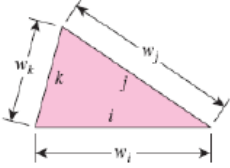
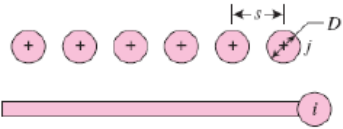
Tabel Untuk Mencari nilai *Emissivity*

TABLE A.11 *Continued*

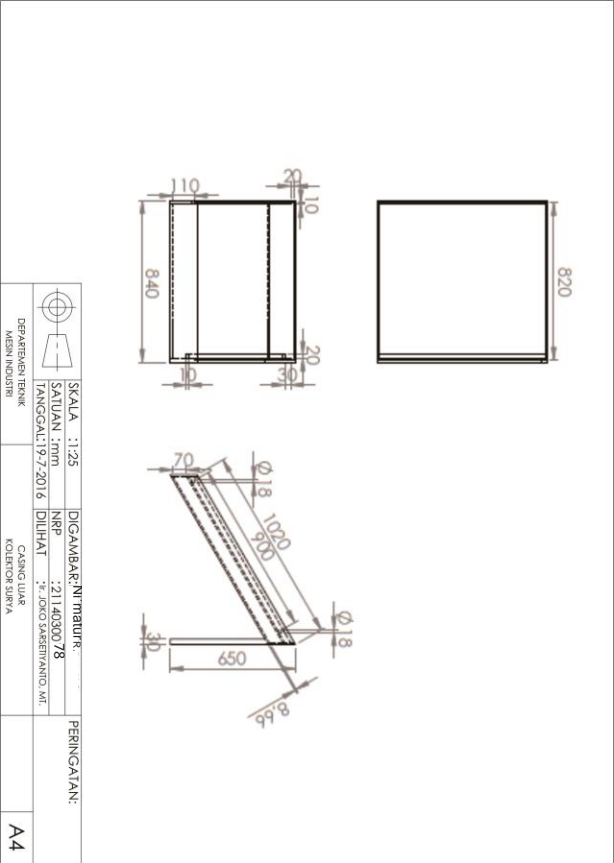
Nonmetallic Substances^b

Description/Composition		Temperature (K)	Emissivity ε
Aluminum oxide	(n)	600	0.69
		1000	0.55
		1500	0.41
Asphalt pavement	(h)	300	0.85–0.93
Building materials			
Asbestos sheet	(h)	300	0.93–0.96
Brick, red	(h)	300	0.93–0.96
Gypsum or plaster board	(h)	300	0.90–0.92
Wood	(h)	300	0.82–0.92
Cloth	(h)	300	0.75–0.90
Concrete	(h)	300	0.88–0.93
Glass, window	(h)	300	0.90–0.95
Ice	(h)	273	0.95–0.98
Paints			
Black (Parsons)	(h)	300	0.98
White, acrylic	(h)	300	0.90
White, zinc oxide	(h)	300	0.92
Paper, white	(h)	300	0.92–0.97
Pyrex	(n)	300	0.82
		600	0.80
		1000	0.71
		1200	0.62
Pyroceram	(n)	300	0.85
		600	0.78
		1000	0.69
		1500	0.57
Refractories (furnace liners)			
Alumina brick	(n)	800	0.40
		1000	0.33
		1400	0.28
		1600	0.33
Magnesia brick	(n)	800	0.45
		1000	0.36
		1400	0.31
		1600	0.40
Kaolin insulating brick	(n)	800	0.70
		1200	0.57
		1400	0.47
		1600	0.53
Sand	(h)	300	0.90
Silicon carbide	(n)	600	0.87
		1000	0.87
		1500	0.85

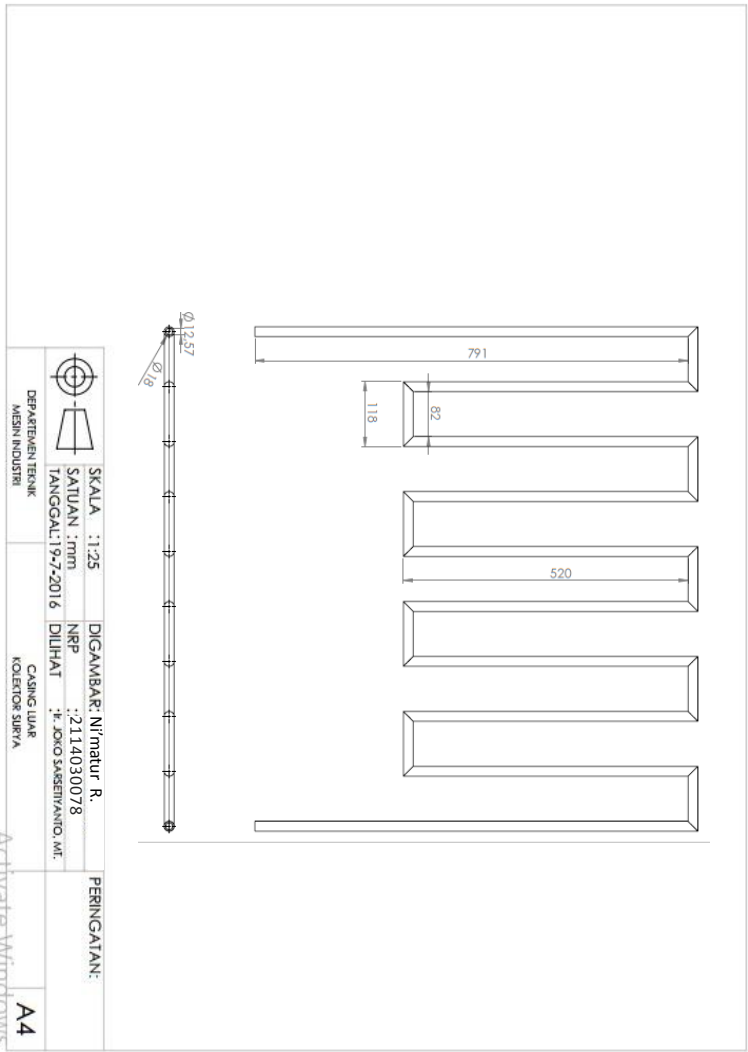
Faktor Bentuk Pada Radiasi Pantulan

GEOMETRY (2D)	RELATION
<p>Parallel plates with midlines connected by perpendicular line</p> 	$ W_i = w_i/L \text{ and } W_j = w_j/L$ $F_{i \rightarrow j} = \frac{[(W_i + W_j)^2 + 4]^{1/2} - (W_j - W_i)^2 + 4]^{1/2}}{2W_i}$
<p>Inclined plates of equal width and with a common edge</p> 	$F_{i \rightarrow j} = 1 - \sin \frac{1}{2} \alpha$
<p>Perpendicular plates with a common edge</p> 	$F_{i \rightarrow j} = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \frac{w_j}{w_i} - \left[1 + \left(\frac{w_j}{w_i} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}$
<p>Three-sided enclosure</p> 	$F_{i \rightarrow j} = \frac{w_i + w_j - w_k}{2w_i}$
<p>Infinite plane and row of cylinders</p> 	$F_{i \rightarrow j} = 1 - \left[1 - \left(\frac{D}{s} \right)^2 \right]^{1/2} + \frac{D}{s} \tan^{-1} \left(\frac{s^2 - D^2}{D^2} \right)^{1/2}$

Dimensi Dari Instalasi Pemanas Air Tenaga Surya



Dimensi Dari Pipa Lulusan di Instalasi Pemanas Air Tenaga Surya



BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Ni'matur Rochmah, dilahirkan di kabupaten Jombang, pada tanggal 14 Desember 1995 dari pasangan Bapak Subadi dan Ibu Dewi Choiriyah. Penulis merupakan anak bungsu dari 3 bersaudara. Penulis menempuh jenjang pendidikan sebagai berikut: TK An-Noer Pandanwangi, SD Negeri Pandanwangi II, SMP Negeri 1 Jombang, dan SMA Negeri 3 Jombang. Tahun 2014 penulis melanjutkan pendidikan di Program Studi Diploma 3 Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya dengan NRP 2114 030 078.

Selama kuliah, penulis aktif di kegiatan perkuliahan dan pelatihan. Pelatihan tersebut diantaranya : LKMM PKTI HMDM FTI-ITS (2014), LKMM Pra-TD BEM FTI-ITS (2014), Pelatihan Motor Bakar BSO Bengkel HMDM FTI-ITS (2014), PJTD Departemen Kominfo HMDM FTI-ITS (2015), dan LKMM TD VII Departemen PSDM HMDM FTI_ITS (2015).

Penulis juga aktif di berbagai organisasi. Pada tahun kepengurusan 2015/2016 penulis menjabat sebagai staff departemen Prokesma Himpunan Mahasiswa D3 Teknik Mesin (HMDM) FTI-ITS, anggota club Pencinta Alam D3MOUNT HMDM FTI-ITS, sekretaris Tim Mobil Listrik Nogogeni ITS, dan Grader Laboratorium Metalurgi D3 Teknik Mesin. Pada kepengurusan 2016/2017, penulis menjadi pengurus club Pencinta Alam D3MOUNT HMDM FTI-ITS, coordinator sekretaris Tim Mobil Listrik Nogogeni ITS, dan Grader Laboratorium Metalurgi D3 Teknik Mesin ITS. Penulis dapat dihubungi ke alamat email nimatur14@gmail.com atau nomor telepon 089677929234.